

文章编号:1004-7220(2013)03-0372-07

搬运护理时脊柱承载风险特征及影响因素

吴昱^{1,2}, 顾冬云^{1,2}, 陈金灵^{1,2}, 施黄骏^{1,2}, LI Yue³

(1. 上海市骨科内植物重点实验室, 上海交通大学医学院附属第九人民医院 骨科, 上海 200011;

2. 上海交通大学 生物医学工程学院, 数字医学临床转化教育部工程研究中心, 上海 200030;

3. Technology R & D Team, Toronto Rehabilitation Institute, University Health Network, Toronto, Canada)

摘要: **目的** 研究多种人力搬运任务中护理人员脊柱腰背部第5腰椎第1骶椎(L5/S1)的承载风险特征及其影响因素,探索减缓风险的合理搬运方式。**方法** 采集9名护理人员对3名不同体重代理患者操作6种搬运护理任务的动力学数据,建立多刚体三维模型,计算L5/S1关节峰值力,研究其承载风险特征,针对性分析L5/S1关节峰值力与6个影响因素的相关性。**结果** 所有任务的峰值正压力均超过安全阈值3.4 kN;挪移类任务的前后向峰值剪力超过阈值0.5 kN。各任务的承载风险特征和影响因素不同,其中L5/S1载荷与重心移动距离及地面反作用力呈显著相关($P < 0.01$)。**结论** 人力搬运护理导致脊柱腰背部承受较高的载荷与损伤风险,且风险特征各异。在搬运时采取减小脊柱整体活动范围、避免过急过猛的动作,将有助于减缓该风险。

关键词: 搬运护理任务; 脊柱; 载荷; 腰背部损伤; 生物力学

中图分类号: R 318.01

文献标志码: A

Injury risks and affecting factors of spinal loads for caregiver's manual patient handling tasks

WU Yu^{1,2}, GU Dong-yun^{1,2}, CHEN Jin-ling^{1,2}, SHI Huang-jun^{1,2}, LI Yue³ (1. Shanghai Key Laboratory of Orthopaedic Implants, Department of Orthopaedics, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200011, China; 2. School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Engineering Research Center of Digital Medicine and Clinical Translation, Ministry of Education, Shanghai 200030, China; 3. Technology R & D Team, Toronto Rehabilitation Institute, University Health Network, Toronto, Canada)

Abstract: **Objective** To assess the injury risks and affecting factors of spinal loads at L5/S1 joint for caregivers during manual patient-handling tasks, so as to find a suitable handling way to effectively reduce such risks. **Methods** Kinetic data were collected from nine female caregivers performing six patient handling tasks on three agent 'patients' with different weight. Peak L5/S1 force was calculated based on a multi-segment three-dimensional model to investigate the characteristics of injury risks, and the correlations between the peak L5/S1 force and six affecting factors were specifically analyzed. **Results** Peak compression of the tasks all exceeded the safe thresholds of 3.4 kN; Peak anterior-posterior force for those repositioning tasks were above the threshold of 0.5 kN. Different tasks showed different biomechanical characteristics for risk of injury and affecting factors, and there was a significant correlation between the L5/S1 loads and the moving distance of center of gravity, and the ground reaction force as well ($P < 0.01$). **Conclusions** Manual patient handling tasks could cause different injury risks by high loads on spinal low back. Decreasing the range of motion of the whole body and avoiding jerk movement during the patient handling tasks would help caregiver to reduce the injury risks.

Key words: Patient handling task; Spine; Loads; Low back injury; Biomechanics

收稿日期:2012-12-19; 修回日期:2013-01-21

基金项目:科技部国际合作项目(2009DFA32500)。

通信作者:顾冬云, Tel:(021)62932392; E-mail:dongyungu@gmail.com。

腰背部损伤是护理行业中最常见的职业性损伤,其中人力搬运护理方式是导致该病高发的主要因素^[1-3]。目前中国的绝大多数医疗机构中,护理人员主要依靠抬、抱等方式移动与搬运患者,大部分并未采用任何辅助工具或保护措施,使其腰背部疼痛或损伤风险大大提高。流行病学研究显示超过70%的中国护理人员曾遭受职业性腰背部损伤^[4-5]。

近年来,生物力学研究表明搬运护理任务易对护理人员脊柱腰背部施加过高的载荷^[2, 6-7],其第5腰椎第1骶椎(L5/S1)正压力已超过了美国国家职业安全与健康研究院推荐的3.4 kN安全阈值^[8]。同时,许多搬运护理任务需要护理人员屈曲躯干^[9],造成较高的剪切力,危及腰背部肌系统的健康^[10]。由此可见,不同搬运护理任务造成的脊柱腰背部损伤风险特征各不相同,有必要针对不同任务进行更为全面的分析。此外,搬运护理任务的对象为人体,不同于一般重物搬运任务。因此,搬运护理过程中各种影响因素,诸如躯干运动幅度等对护理人员L5/S1载荷的影响也不甚明了^[11-13]。

为应对老龄化程度日益加剧、护理需求急剧上升的严峻形势^[4, 14],运用骨肌系统生物力学模拟分

析方法,定量研究护理人员在多种常见搬运护理任务中脊柱腰背部的受力状况与损伤风险。针对各任务的承载风险特性,进一步探寻该损伤风险的影响因素,探索有效减缓脊柱腰背部损伤的合理搬运方式,为医疗机构及家庭环境的护理指导提供重要理论依据。

1 材料与方法

1.1 受试者

已获得上海交通大学生物医学工程学院生命伦理委员会批准。实验前已获取受试者知情同意书。实验选取9名女性护理人员(年龄 (48 ± 6) 岁,体重 (63.09 ± 5.27) kg,身高 (160.67 ± 5.66) cm),搬运护理经验超过2年 (10.22 ± 5.95) 年)且近1年无脊柱伤病史。3名健康人士扮演下肢依赖但上肢有承重能力的代理患者。其中较轻的患者为男性,体重53 kg;中等患者为女性,体重71 kg;较重的患者为男性,体重79 kg。

1.2 实验设计

本实验包括以下6种临床常见的搬运护理任务(见图1)。任务(a)翻身(推动),将处于躺姿的患

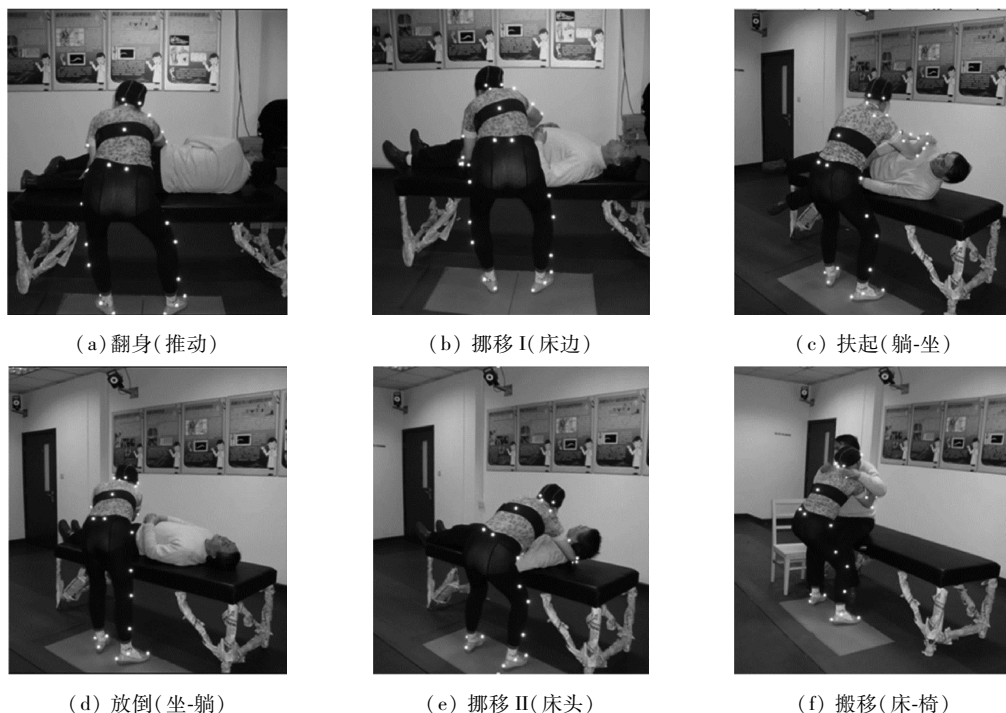


图1 人力搬运护理任务

Fig.1 Six manual patient handling tasks (a) Turning away, (b) Moving to bedside, (c) Raising up from lying to sitting position, (d) Lying down to bed, (e) Moving to bed head, (f) Transferring from bed to chair

者外推至背对护理人员;任务(b)挪移 I(床边),将处于躺姿的患者从床中挪移至床边;任务(c)扶起(躺-坐),将处于躺姿的患者扶起至于床边;任务(d)放倒(坐-躺),将坐于床边的患者放倒至躺姿;任务(e)挪移 II(床头),将处于躺姿的患者从床中挪移至床头;任务(f)搬移(床-椅),将坐于床边的患者搬至一侧座椅上。

实验要求护理人员对3位体重不同的患者进行上述任务的操作,每个任务重复3次,每次试验间保留1 min 休息。数据采集前,受试者需反复排练试验至对各任务操作熟悉为止。由于实验条件限制,实验中选用一张高为63 cm 的检查床与高为45 cm 的无扶手座椅。

1.3 数据采集

采用 Vicon® T40 三维运动捕捉系统采集护理人员运动学数据,该系统包含10个400万像素的红外摄像头,采集频率为100 Hz。两块测力台(AMTI® OR6-7)并排放置以捕捉地面反作用力,采集频率为1 kHz。镜头与测力台已调至同步时间采集数据。

依据 VICON Plug-in-Gait 准则,护理人员全身贴有39个反射标记点。多数标记点被置于护理人员的全身解剖标记点,其余标记点与前者形成刚体用以追踪上肢躯干、骨盆、左右大小腿、左右足。

1.4 模型建立与数据分析

建立下肢与躯干的八环节刚体模型用以评估脊柱腰背部的近端反作用力与力矩。其中,各身体环节分别为上肢躯干、骨盆、左右大小腿、左右足,分别由3~4个标记点确立其环节长度、重心与局部坐标系,并跟踪确定实时位移。L5/S1 关节被定义为上肢躯干与骨盆间的关节。

各身体环节的近端反作用力通过逆动力学法,由该环节的实时位移与其下一环节的近端反作用力迭代计而得。环节合外力矩由该环节近端反作用力与环节长度,并结合其下一环节的合外力矩迭代计算所得(双足近端反作用力由其位移与地面反作用力算得;其合外力矩为近端反作用力、环节长度的外积与地面反作用力矩之和)。计算各搬运护理任务造成的脊柱腰背部承载峰值力,即整个任务操作过程中 L5/S1 的瞬时最大力值。

腰背部 L5/S1 肌肉前-后向与侧向剪切力即为

骨盆近端反作用力;正压力合力由单块同等肌肉模型所得,具体计算公式如下:

$$\sum F_{L5/S1 \text{ 肌肉正压力}} = F_{\text{骨盆近端反作用力}} + F_{\text{肌肉收缩正压力}} \quad (1)$$

$$F_{\text{肌肉收缩正压力}} = F_{\text{前屈肌正压力}} + F_{\text{侧弯肌正压力}} + F_{\text{扭转肌正压力}} \quad (2)$$

$$F_{\text{前屈肌正压力}} = M_{\text{前屈力矩}} / S_{\text{前屈肌力臂}} \quad (3)$$

$$F_{\text{侧弯肌正压力}} = M_{\text{侧弯力矩}} / S_{\text{侧弯肌力臂}} \quad (4)$$

$$F_{\text{扭转肌正压力}} = M_{\text{扭转力矩}} / S_{\text{扭转肌力臂}} \quad (5)$$

为获得不同搬运护理任务的潜在风险损伤因素,计算 L5/S1 处力达到峰值时的6个影响因素:腰背部侧向、扭转、前屈角度,重心移动距离与剪切、垂直向地面反作用力。根据不同任务的承载特性,进行腰背部峰值力与这些影响因素间的相关性及回归分析。其中峰值力与影响因素须进行受试者身高、体重归一化处理(见表1)。

表1 人力搬运护理任务影响因素的物理意义以及归一化处理方式
Tab.1 Physical significance and normalization of the affecting factors calculated in patient handling tasks

影响因素	物理意义	归一化处理方式
腰背部侧向、扭转、前屈角度	三向的上肢躯干运动幅度	无归一化处理
重心移动距离	整体运动范围	护理人员身高归一化
剪切向、垂直向地面反作用力	两向的承受重物载荷的分量	护理人员体重归一化

运用 SPSS 14.0 软件进行数理统计分析。通过 ANOVA 与 Turkey HSD 事后分析法多重比较各任务与代理患者的体重因素对三向峰值力的显著性影响。采用 Pearson 相关系数进行多因素的相关分析,并针对相关性特别显著($P < 0.01$)的参数组展开进一步的一元线性渐进式回归分析,以确定参数间的因果关系。

2 结果

评估护理人员操作各搬运护理任务时 L5/S1 关节的三向峰值力,并针对各任务的承载风险特性进行归一化后的 L5/S1 处峰值力与多个因素的相关性、回归性分析。

2.1 脊柱腰背部承载的峰值力

6个搬运护理任务造成的 L5/S1 处轴向力值(正

压力)峰值均超过美国国家职业安全与健康研究院推荐的脊柱腰背部正压力标准限值 3.4 kN^[8](见图 2)。另外,任务(b)与(e)造成的前-后向峰值力超过 0.5 kN安全水平^[15],而其余任务均超过 0.4 kN。

任务(f)的轴向峰值正压力值最高(4 833.57 ± 905.24) N($P < 0.01$);任务(b)与(e)造成的前-后向峰值力最高,分别为(512.37 ± 63.87)、(534.74 ± 65.22) N($P < 0.05$);任务(c)与(d)的侧向峰值

力显著较高($P < 0.05$);任务(a)在 3 个方向上的 L5/S1 处峰值力均显著最低($P < 0.05$)。

较轻与较重患者造成的 L5/S1 处峰值力间存在显著差异($P < 0.05$);中等与较重患者间也存在显著差异($P < 0.05$)。然而,较轻与中等患者间则没有观察到显著差异($P > 0.05$)。此外,体重因素与任务因素间的交叉影响可忽略不计($P > 0.05$)。

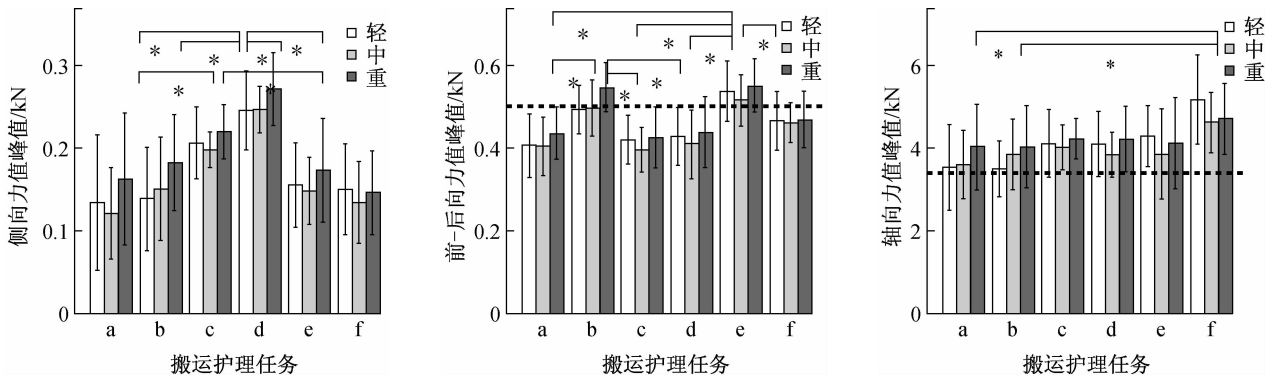


图 2 6 个搬运护理任务计算所得三向的峰值力

Fig.2 Peak forces calculated in six patient handling tasks in three directions

---:腰背部 L5/S1 处受力安全阈值(0.5 kN 剪切力,3.4 kN 正压力)

2.2 各搬运护理任务的脊柱承载风险特征

任务(b)与(e),以及任务(c)与(d)的 L5/S1 处三向峰值力无显著性差异。根据承载结果并结合护理人员的动作特性,人力搬运护理任务被分为 4 类,其力学表现特性如下(见表 2)。

表 2 搬运护理任务依据生物力学结果以及动作特征的分类

Tab.2 Patient handling tasks classified by biomechanical results and action characteristics

分类	搬运护理任务	承载结果	动作特征
翻身	(a)翻身(推动)	三向力最低	以弹力推动或拉动
挪动	(b)挪动 I(床边)	前-后向力最高	抗摩擦力移动
	(e)挪动 II(床头)	(超过阈值)	
扶起/放倒	(c)扶起(躺-坐)	侧向力最高,前-	承受部分重力搬举
	(d)放倒(坐-躺)	后向力值较低	
搬移	(f)搬移(床-椅)	轴向正压力最高(超过阈值)	承受绝大部分重力搬运

2.3 脊柱腰背部承载峰值力与多个因素的相关性、回归分析

对于超过安全阈值的载荷,即所有任务的正压力与挪动类任务(b)、(e)的前-后向剪切力,计算归一化后的峰值力与相应腰背部侧向、扭转、前屈角度、重心移动距离及剪切向、垂直向地面反作用力的 Pearson 相关性(见表 3、4)。此外,上述 6 个因素间的相关性可忽略不计(双侧 $P > 0.05$)。

表 3 所有搬运护理任务中 L5/S1 轴向峰值力与影响因素的相关性统计

Tab.3 Correlation results among peak axis force and other affecting factors in all patient handling tasks

搬运护理任务	显著相关因素 (0.01 < P < 0.05)	特别显著相关因素 (P < 0.01)
(a)翻身(推动)	Ang-LR, Ang-Tw, Ang-Ex	Dis-COG
(b)挪动 I(床边)	Dis-COG	无
(c)扶起(躺-坐)	Dis-COG	无
(d)放倒(坐-躺)	无	无
(e)挪动 II(床头)	Dis-COG	无
(f)搬移(床-椅)	无	GRF-Ver

表4 任务(b)和(e)中L5/S1前-后向峰值剪切力与影响因素的相关性统计

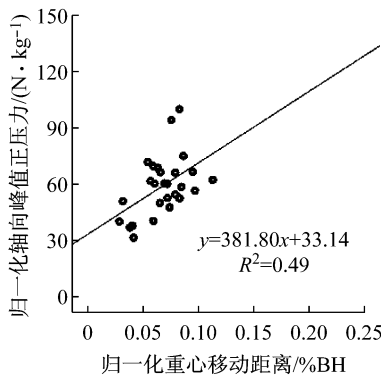
Tab. 4 Correlation result among peak anterior-posterior shear force and other affecting factors in task (b) and (e)

挪动类任务	显著相关因素 ($0.01 < r < 0.05$)	特别显著相关因素 ($r < 0.01$)
(b)挪动 I (床边)	Ang-LR	Ang-Tw, GRF-Sh, GRF-Ver
(e)挪动 II (床头)	Ang-Tw	GRF-Ver

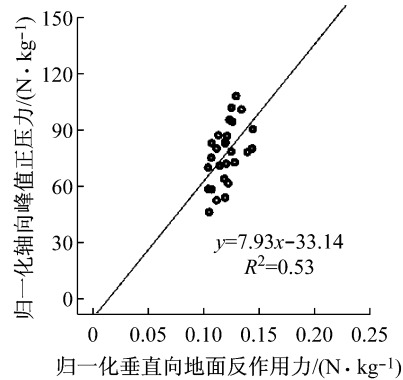
表3、4中:Ang-LR、Ang-Tw与Ang-Ex分别为腰

背部侧向、扭转与前屈角度, Dis-COG为重心移动距离, GRF-Sh、GRF-Ver分别为剪切向、垂直向地面反作用力。

特别显著相关的参数组(双侧 $P < 0.01$)的一元线性回归分析结果显示,重心移动距离和垂直向地面反作用力分别显著影响任务(a)与(f)的峰值正压力($R^2 > 0.5$);两向地面反作用力显著影响挪移类任务b的前-后向峰值剪切力($R^2 \geq 0.68$),任务(e)的影响因素仅为垂直向地面反作用力($R^2 = 0.80$)(见图3、4)。



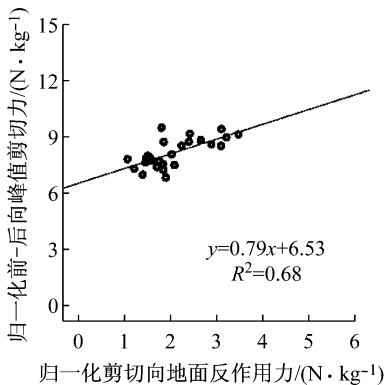
(a) 翻身(推动)



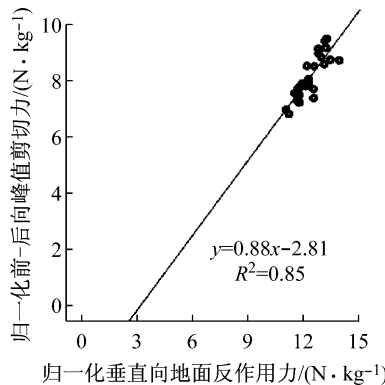
(b) 搬移(床一椅)

图3 任务(a)和(f)中归一化峰值正压力与重心移动距离、垂直向地面反作用力关系的散点图

Fig. 3 Scatter diagrams of relationships between normalized peak compression force and distance of COG moving, vertical GRF respectively in two tasks (a) Task (a) (turning away), (b) Task (f) (transferring from bed to chair)



(a) 挪动 I (床边)



(b) 挪动 II (床头)

图4 任务(b)和(e)中归一化前-后向峰值剪切力与剪切向、垂直向地面反作用力关系的散点图

Fig. 4 Scatter diagrams of relationships between normalized peak A-P shear force and distance of COG shear/ vertical GRF respectively in two tasks (a) Task (b) (moving to bedside), (b) Task (e) (moving to bed head)

3 讨论

目前,国外的生物力学研究关注于护理人员操

作辅助工具或设备搬运护理时的脊柱腰背部载荷^[1,14]。但在家庭护理与条件受限的医疗护理机构中,人力搬运与护理患者的方式依然常见。不少研

究仍关注于人力方式搬运护理造成的损伤与风险,如 Skotte 等^[6]将 8 种常见的人力搬运护理任务依据所造成的 L5/S1 关节峰值压力分为 3 组不同水平; Claus 等^[2]计算操作典型护理任务时腰背部正压力的特征值,并将此作为职业性疾病申诉的建议值。

本研究评估 9 名护理人员操作 6 种人力搬运护理任务的脊柱腰背部峰值力,护理对象为 3 名体重不同的代理患者。结果显示所有任务造成的 L5/S1 峰值正压力均高于安全阈值 3.4 kN^[8],提示本研究所评估的 6 项搬运护理任务均可能对护理人员造成腰椎间的软组织包括椎间盘、韧带的损伤^[16];而挪移类任务的前-后向剪切力已超过 0.5 kN 的限制水平^[15],提示护理人员在操作该项任务时极可能造成腰背部前/后纵韧带、黄韧带或其他韧带的伤害^[17-18]。根据生物力学结果并参考护理人员的动作特性,任务被分为 4 组截然不同的护理类型。结果显示,各类搬运护理任务所引起的 L5/S1 载荷各有特点,其损伤风险也各不相同,可见人力搬运护理任务是非常费力而且复杂的。同时,代理患者的体重被证实为是影响 L5/S1 载荷的因素之一。较重患者造成的峰值力显著高于其他两名较轻的受试者 ($P < 0.05$),提示对于“超重”患者的搬运护理任务需格外注意。

本研究采用的单块同等肌肉模型忽略肌肉耦合与其他组织的影响^[10],使搬移与挪移任务的峰值力均小于 Marras 等^[10]的高级肌肉肌电模型。此外,峰值力高于 Skotte 等^[6]的数值,但与其数值的变化趋势一致,这可能是由于本研究并未测量床边反作用力,使力矩计算值偏大进而导致关节合力偏大^[6]。

笨拙的姿势被认为是导致搬运重物者脊柱腰背部载荷过量的重要因素^[19],而搬运中的多种运动参数也与 L5/S1 载荷以及损伤风险相关^[20-21]。流行病学研究指出,搬运重物时上肢躯干前屈与扭转均会改变躯干的内部结构,直接增加脊柱的载荷,诱发腰背部损伤与疼痛^[21]。另外,搬运速度也被认为是影响脊柱腰背部载荷的重要因素:快速搬运重物会增加腰背部骨肌系统损伤的风险^[22]。需注意的是,搬运护理任务的对象为人体,有别于一般重物,故各种运动参数对护理人员 L5/S1 的载荷影响也不甚明了^[11-12]。本研究选用 6 个可量化参数作为搬运护理任务中 L5/S1 峰值力的影响因素,这些参数分

别量化了护理人员的上肢躯干、整体姿势、搬运速度等情况。为了有效评价这些因素的影响,仅针对超过安全阈值的峰值力及相关因素进行相关检验,并选取特别显著相关的参数组进行回归分析,以获得不同搬运护理任务的潜在风险损伤因素。

相关性与回归分析的结果表明,重心移动距离影响了多数任务的 L5/S1 峰值正压力。由于许多任务中护理人员需调节全身姿势或借用全身力量,故代表整体姿势改变的重心移动距离对载荷的影响较为显著。值得注意的是,该因素并未影响放倒与搬移任务的峰值力,这是因为患者上肢具有一定承重能力,使护理人员在放倒任务中运动范围变小;搬移任务中护理人员保持贴近患者状态,导致屈曲力矩不受重心变化影响。

地面反作用力代表了护理人员承重的分量,其中垂直向分量一定程度上表示代理患者的体重对结果载荷的影响。在搬移任务中护理人员承受着患者大部分体重,故轴向正压力与该因素紧密相关;另外,该因素也反映了加速度所致合外力增大的情况。外载荷一定时,急拉或猛举动作会使地面反作用力对 L5/S1 的载荷影响增大。搬移任务的轴向正压力方向与挪移类任务的前-后剪切向均会产生较大的爆发力,故地面反作用力与这些任务特定方向的峰值力特别显著相关 ($P < 0.01, R^2 \geq 0.53$)。这与 Katsuhira 等^[23]对搬移任务的研究结果一致。

腰背部屈曲角度仅在翻身任务中与 L5/S1 的峰值正压力相关,与一般搬运重物的研究结果不甚一致:搬运重物者的腰背部承载与其躯干屈曲程度相关^[21-22]。这是因为有别于其他搬运护理任务,护理人员操作翻身任务时仅依赖躯干力量,而下半身保持直立姿势。在挪移类任务的前-后剪切向上,扭转角度也具有一定影响。操作此类任务时护理人员的身体呈不对称姿势,如因保护患者上肢或分段牵拉患者时造成躯干扭转,进而影响腰背部扭转角度。

总之,本研究运用生物力学法计算多种人力搬运任务的脊柱腰背部载荷,总结其生物力学特性,并检验多个因素的相关影响,以此探讨这些任务对护理人员脊柱腰背部的损伤风险。研究表明,搬运护理任务导致护理人员脊柱腰背部承受较高的载荷与损伤风险,且风险特征各异。在操作这些任务时,护理人员若采取减小脊柱整体活动范围、避免过急过

猛的动作,将有助于减缓该风险。

参考文献:

- [1] Waters TR. When is it safe to manually lift a patient [J]. *Am J Nurs*, 2007, 107(8): 53-58.
- [2] Jordan C, Luttmann A, Theilmeier A, *et al.* Characteristic values of the lumbar load of manual patient handling for the application in workers' compensation procedures [J]. *J Occup Med Toxicol*, 2011, 6(1): 17.
- [3] Marras WS, Knapik GG, Ferguson S. Lumbar spine forces during manoeuvring of ceiling-based and floor-based patient transfer devices [J]. *Ergonomics*, 2009, 52(3): 384-397.
- [4] Chiou WK, Wong MK, Lee YH. Epidemiology of low back pain in Chinese nurses [J]. *Int J Nurs Stud*, 2004, 31(4): 361-368.
- [5] Smith DR, Wei N, Zhao L, *et al.* Musculoskeletal complaints and psychosocial risk factors among Chinese hospital nurses [J]. *Occup Med (Lond)*, 2004, 54(8): 579-582.
- [6] Skotte J, Fallentin N. Low back injury risk during repositioning of patients in bed: The influence of handling technique, patient weight and disability [J]. *Ergonomics*, 2008, 51(7): 1042-1052.
- [7] Theilmeier A, Jordan C, Luttmann A, *et al.* Measurement of action forces and posture to determine the lumbar load of healthcare workers during care activities with patient transfers [J]. *Ann Occup Hyg*, 2010, 54(8): 923-933.
- [8] U. S. Dept. of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Biomedical and Behavioral Science. *Work practices guide for manual lifting* [R]. Washington DC: NIOSH, 1981.
- [9] Ergonomic Technical Advisory Group. *Patient care ergonomics resource guide: Safe patient handling and movement* [R]. USA: Department of Veterans Affairs, 2005.
- [10] Marras W, Davis K, Kirking B, *et al.* A comprehensive analysis of low-back disorder risk and spinal loading during the transferring and repositioning of patients using different techniques [J]. *Ergonomics*, 2009, 42(7): 904-926.
- [11] Katsuhira J, Sasaki H, Asahara S, *et al.* Comparison of low back joint moment using a dynamic 3D biomechanical model in different transferring tasks wearing low back belt [J]. *Gait Posture*, 2008, 28(2): 258-264.
- [12] Mitchell T, OSullivan PB, Smith A, *et al.* Biopsychosocial factors are associated with low back pain in female nursing students: A cross-sectional study [J]. *Int J Nurs Stud*, 2009, 46(5): 678-688.
- [13] Kjellberg K, Lagerstrom M, Hagberg M. Work technique of nurses in patient transfer tasks and associations with personal factors [J]. *Scand J Work Environ Health*, 2003, 29(6): 468-477.
- [14] Personick ME. Nursing home aides experience increase in serious injuries [J]. *Mon Labor Rev*, 2005, 113(2): 30-37.
- [15] McGill S, Norman RW, Yingling VR, *et al.* Shear happens! Suggested guidelines for ergonomists to reduce the risk of low back injury from shear loading [M]// McGill S ed. *Low back disorders: Evidence-based prevention and rehabilitation*. USA: Human Kinetics, 2005.
- [16] Gunning JL, Callaghan JP, McGill SM. Spinal posture and prior loading history modulate compressive strength and type of failure in the spine: A biomechanical study using a porcine cervical spine model [J]. *Clin Biomech*, 2007, 16(6): 471-480.
- [17] Myklebust JB, Pintar F, Yoganandan N, *et al.* Tensile strength of spinal ligaments [J]. *Spine*, 1998, 13(5): 526.
- [18] 王溪原, 苑福生, 张远石, 等. 青年与老年人脊柱黄韧带黏弹性实验研究 [J]. *医用生物力学*, 2011, 26(1): 75-80.
Wang XY, Yuan FS, Zhang YS, *et al.* Experimental study on viscoelasticity of lumbar yellow ligament in young and old people [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(1): 75-80.
- [19] Jorgensen MJ, Marras WS, Smith FW, *et al.* Sagittal plane moment arms of the female lumbar region rectus abdominis in an upright neutral torso posture [J]. *Clin Biomech*, 2005, 20(3): 242-246.
- [20] Potvin J, Norman R, Eckenrath M, *et al.* Regression models for the prediction of dynamic L4/L5 compression forces during lifting [J]. *Ergonomics*, 2002, 35(2): 187-201.
- [21] Marras WS, Lavender SA, Leurgans S, *et al.* The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders [J]. *Spine*, 2003, 18(5): 617-628.
- [22] Fathallah FA, Marras WS, Parnianpour M. The role of complex, simultaneous trunk motions in the risk of occupation-related low back disorders [J]. *Spine*, 2008, 23(9): 1035-1042.
- [23] Katsuhira J, Yamasaki S, Yamamoto S, *et al.* Effects of general principles of person transfer techniques on low back joint extension moment [J]. *Ind Health*, 2010, 48(6): 796-803.