

经皮激光汽化减压术联合臭氧注射治疗 腰椎间盘突出症的临床观察

赵继荣¹ 薛旭^{2△} 陈文¹ 赵宁¹ 朱宝¹ 赵生鑫² 马同² 王国慧¹ 郭培尧²

[摘要] 目的:观察经皮激光汽化减压术(PLDD)联合臭氧注射治疗腰椎间盘突出症(LDH)的临床疗效。方法:以本院 2014 年 10 月至 2016 年 9 月收治的 62 例 LDH 患者作为研究对象,并将所有患者随机分为治疗组和对照组,每组各 31 例,治疗组给予 PLDD 联合臭氧注射治疗,对照组给予单纯的 PLDD 治疗,所有患者于术前、术后 1 d,1 个月,3 个月,6 个月和 12 个月,采用视觉模拟疼痛评分法(VAS)评价疼痛缓解程度;Oswestry 功能障碍指数问卷表(ODI)评价腰椎功能改善情况;术后 12 个月采用改良的 Macnab 疗效标准评价临床疗效。结果:两组患者术前 VAS 疼痛评分和 ODI 评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$);治疗组术后 1 d,1 个月,3 个月,6 个月及 12 个月 VAS 疼痛评分和 ODI 评分均低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);各组内术后不同时间点的 VAS 疼痛评分和 ODI 评分与术前比较差异有统计学意义($P<0.05$);时间因素与分组因素存在交互效应分别为($F=4.598, P=0.036$)及($F=5.145, P=0.023$);术后随访 12 个月改良的 Macnab 疗效比较,治疗组优良率为 93.55%,对照组优良率为 80.65%,差异有统计学意义($P<0.05$)。结论:PLDD 联合臭氧注射治疗椎间盘突出症疗效显著,值得临床推广应用。

[关键词] 经皮激光汽化减压术;臭氧注射;腰椎间盘突出症;疗效

[中图分类号] R681.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2018)09-0023-05

Observation on Clinical Efficacy Percutaneous Laser Disc Decompression in Combination with Ozone Injection of Treating Lumbar Disc Herniation

ZHAO Jirong¹ XUE Xu^{2△} CHEN Wen¹ ZHAO Ning¹ ZHU Bao¹
ZHAO Shengxin² MA Tong² WANG Guohui¹ GUO Peiyao²

¹Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730050, China;

²Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730030, China.

Abstract Objective: To observe the clinical efficacy of percutaneous lasers disk decompression(PLDD) combined with Ozone injection in the treatment of lumbar disc herniation(LDH). **Methods:** 62 cases of LDH patients treated in our hospital from October 2014 to September 2016 were selected as the research object, all the patients were randomly divided into treatment group and control group, 31 cases in each group. The treatment group was given PLDD combined with Ozone injection, while the control group was given simple PLDD. All of the patients were used Visual analogue scale(VAS), Oswestry disability index (ODI) in the preoperative and postoperative 1 d, 1 month, 3 month, 6 month and 12 month for the assessment of pain and lumbar function, and using the modified Macnab criteria was evaluated the clinical efficacy of 12 months after the operation. **Results:** There was no significant difference in preoperative VAS pain scores and ODI scores between the two groups ($P>0.05$). The VAS pain scores and ODI scores of the treatment group in the postoperative 1 d, 1 month, 3 month, 6 month and 12 month were significantly lower than those of the control group ($P<0.05$). The VAS pain scores and ODI scores of different time points in each group were statistically significant ($P<0.05$). The interaction effects of time and group factors are respectively ($F=4.598, P=0.036$), ($F=5.145, P=0.023$). After follow-up of 12 months modified Macnab efficacy comparison, the excellent rate of treatment group was 93.55%, while those of control group was 80.65% and the difference were statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion:** PLDD combined with ozone injection is effective in the treatment of lumbar disc herniation, and it is worthy of clinical application.

Keywords: percutaneous laser disc decompression; ozone injection; lumbar disc herniation; clinical efficacy

基金项目:甘肃省自然科学基金资助项目(1606RJZA346)

¹ 甘肃省中医院(兰州,730050)

² 甘肃中医药大学

[△]通信作者 E-mail:1975938420@qq.com

腰椎间盘突出症(Lumbar Disc Herniation, LDH)是骨科临床上的一种常见病,主要症状以腰腿部疼痛、麻木为主。近年来 LDH 的发病率呈逐渐上升的趋势,已经成为一个严重威胁公众健康的疾病,同时给家庭、社会带来沉重的经济负担。随着现代微创治疗技术的不断发展,LDH 的治疗手段日益多样化,激光汽化减压、臭氧注射、椎间孔镜、椎间盘镜、射频消融等微创技术迅速发展并以其损伤小、恢复快和简单易行等优势,受到广大患者的认可。近几年有研究者报道在经皮激光汽化减压术(Percutaneous Laser Disc Decompression, PLDD)的基础上,联合臭氧注射应用于 LDH 的治疗,取得满意效果^[1]。为进一步观察与探讨 PLDD 联合臭氧注射治疗 LDH 的临床疗效,本研究选取 62 例患者进行了前瞻性对照观察,现报告如下。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取 2014 年 10 月至 2016 年 9 月间本院收治的 62 例 LDH 患者,将所有患者随机分为治疗组和对照组(各 31 例)。本研究经本院伦理协会审核同意。

1.2 诊断标准^[2]

1)有腰部外伤、慢性劳损或寒湿史,大部分患者在发病前有慢性腰痛史;2)腰痛向臀部及下肢放射,腹压增加(如咳嗽、喷嚏)时疼痛加重;3)脊柱侧弯,腰椎生理弧度消失,病变部位椎旁有压痛,并向下肢放射,腰活动受限;4)下肢受累神经支配区有感觉过敏或迟钝,病程长者可能出现肌肉萎缩;直腿抬高或加强试验阳性,膝、跟腱反射减弱或消失,踵背伸肌力减弱;5)X 线片检查:病变椎间盘可能狭窄,相应边缘有骨赘增生。CT 和 MRI 检查可显示椎间盘突出的部位及程度。

1.3 纳入标准^[3]

1)符合上述诊断标准;2)患者为单节段椎间隙突出,并且临床症状及体征明显;3)接受正规保守治疗 12 周但效果不佳或加重者;4)签署知情同意书并能够遵医嘱完成治疗者。

1.4 排除标准

1)巨大突出物占椎管横截面积 $>40\%$ 者;2)纤维环破裂,且游离髓核进入椎管者;3)有严重腰椎管狭窄症、侧隐窝狭窄、腰椎滑脱症、黄韧带肥厚或马尾神经损伤等;4)合并有心脑肾等重要脏器疾病、出血倾向或穿刺部位皮肤破溃者;5)既往有椎间盘或腰椎手术史。

1.5 方法

1.5.1 仪器 QUANTASERIESA 型半导体激光治疗仪,意大利产,波长 1 064 nm,末端输出功率 10~20 W,光导纤维直径 400 μm ,医用臭氧及 C 臂机。

1.5.2 治疗方法 对照组给予单纯的 PLDD 治疗。

患者取俯卧位,腹部垫高约 10~15 cm,在 C 臂机下用克氏针准确定位拟穿刺椎间盘平面并作水平线标识,距后正中线 8~10 cm(左右根据患者具体情况而定)处作平行线标识,两线交点为进针点。手术区皮肤常规碘伏消毒,铺一次性无菌单,1%利多卡因进行局部浸润麻醉,用 16 G \times 15 cm 长激光穿刺针在 C 臂机透视下经皮匀速缓慢穿刺至定位病变椎间盘,密切观察进针方向和位置,当针尖穿刺到达椎体上下终板中央、中后 1/3(侧位观),针头恰在棘突投影处(正位观)表明穿刺成功。然后一手固定穿刺针,另一手将 600 μm 激光纤维导丝标记后插入穿刺针孔,使纤维导丝头部露出针芯 3~5 mm,开启激光治疗仪,设置输出功率 10 W,脉冲辐射时间 10 s,间隔时间为 1 s。间隔时间用空针抽吸针孔内液体,使间盘内形成负压。病变间隙激光汽化总能量控制在 2 500~3 500 J。汽化结束后,退出纤维导丝。

治疗组给予 PLDD 联合臭氧注射治疗。在上述治疗方案的基础上给予臭氧注射治疗,向病变椎间隙内靶点注射 40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 医用臭氧 10~15 mL,之后拔出穿刺针,用无菌创可贴贴于穿刺部位。嘱患者仰卧,询问患者疼痛缓解情况或有无其他不良反应。所有患者术后常规静滴抗生素、糖皮质激素、甘露醇 3 d 以预防感染、减少创伤反应及局部组织水肿。

1.5.3 疗效评定方法 62 例患者均在术前、术后 1 d,1 个月,3 个月,6 个月和 12 个月采用视觉模拟疼痛评分法(VAS)^[4]评价疼痛缓解程度。0 分,无痛;1~3 分,患者轻微疼痛,可正常活动;4~6 分,患者中度疼痛,但尚能忍受;7~10 分,患者重度疼痛,难以忍受,严重影响睡眠和食欲。Oswestry 功能障碍指数问卷表(Oswestry Disability Index, ODI)^[5]评价腰椎功能改善情况。由 10 个问题组成,包括疼痛强度、步行、站立、坐位、提物、生活自理、干扰睡眠、旅游、性生活和社会生活 10 个方面的情况,每个问题提供 6 个选项,每个问题最高得分为 5 分,最低得分为 0 分,10 个问题全部回答。记分方法为:最终得分=[实际得分/50(最高可能得分)] $\times 100\%$;如果有一个问题没有回答,则最终得分=[实际得分/45(最高可能得分)] $\times 100\%$,依此类推,得分越高表明功能障碍越严重;两组患者术后随访 12 个月采用改良 Macnab 疗效评价标准^[6]评价临床疗效。优,症状消失,正常工作和活动恢复;良,症状轻微,正常工作和活动基本不受影响;中,症状部分缓解,正常工作和活动受影响;差,症状不缓解,神经受压无明显改善,需进一步治疗。优良率=[(优+良)/总例数] $\times 100\%$ 。

1.6 统计学方法

采用 SPSS18.0 软件进行数据统计分析,计数资

料以率(%)表示,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料采用 χ^2 检验,计量资料采用 t 检验,术前 VAS 评分和 ODI 评分与各随访时间段的对比采用方差分析, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

纳入研究的 62 例 LDH 患者:男 37 例,女 25 例;年龄 18~46 岁,平均(30.11±8.2)岁,病程 2~33 个月,平均(14.85±8.4)个月;椎间盘突出间隙 L_{3~4} 3 例,L_{4~5} 39 例,L₅S₁ 20 例。两组患者年龄、性别、病程、病变节段等一般临床资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性,见表 1。

表 1 两组患者基线资料比较

组别	性别比 (男/女)	年龄(岁) ($\bar{x} \pm s$)	病程(月) ($\bar{x} \pm s$)	椎间盘突出间隙(例)		
				L _{3~4}	L _{4~5}	L ₅ S ₁
治疗组	18/13	31.5±8.1	15.1±7.5	1	20	10
对照组	19/12	30.7±8.2	14.8±7.3	2	19	10
检验统计量	$\chi^2=0.114$	$t=0.233$	$t=0.256$	$\chi^2=0.430$		
P	0.931	0.724	0.681	0.512		

2.2 两组患者 VAS 评分比较

两组患者术前 VAS 评分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);两组患者术后 1 d,1 个月,3 个月,6 个月及 12 个月 VAS 评分比较,差异有统计学意义($P <$

0.05);各组内术后不同时间点与术前比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),时间因素与分组因素存在交互效应($F=4.598,P=0.036$),见表 2。

表 2 VAS 评分比较($\bar{x} \pm s$)

组别	术前	术后 1 d	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 6 个月	术后 12 个月	合计	F	P
治疗组	7.62±0.82	3.59±0.84	3.26±0.81	2.87±0.75	2.55±0.63	1.29±0.56	3.53±0.74	8.627 ¹⁾	0.011 ¹⁾
对照组	7.76±0.74	5.25±0.78	4.51±0.83	4.28±0.61	3.43±0.59	2.56±0.47	4.50±0.67	8.457 ¹⁾	0.012 ¹⁾
t	0.676	5.325	5.854	5.621	5.145	4.569	3.071	4.598 ²⁾	0.036 ²⁾
P	0.324	0.024	0.020	0.022	0.023	0.001	0.003		

注:1)主效应的 F 值和 P 值;2)交互效应的 F 值和 P 值。

2.3 两组患者 ODI 评分比较

两组患者术前 ODI 评分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);两组患者术后 1 d,1 个月,3 个月,6 个月及 12 个月 ODI 评分比较,差异有统计学意义($P <$

0.05);各组内术后不同时间点与术前比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),时间因素与分组因素存在交互效应($F=5.145,P=0.023$),见表 3。

表 3 ODI 功能障碍评分比较($\bar{x} \pm s$)

组别	术前	术后 1 d	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 6 个月	术后 12 个月	合计	F	P
治疗组	61.8±13.2	40.8±3.9	19.7±1.2	8.9±1.7	1.7±1.3	0.66±0.7	20.3±3.7	16.235 ¹⁾	0.011 ¹⁾
对照组	62.7±11.3	45.3±4.1	22.9±1.3	10.9±2.2	2.5±1.3	1.30±0.9	26.2±3.5	14.857 ¹⁾	0.009 ¹⁾
t	6.583	2.535	1.879	2.615	2.875	1.651	2.706	5.145 ²⁾	0.023 ²⁾
P	0.761	0.008	0.029	0.005	0.002	0.026	0.007		

注:1)主效应的 F 值和 P 值;2)交互效应的 F 值和 P 值。

2.4 两组患者术后 12 个月改良 Macnab 疗效比较

两组患者术后 12 个月改良 Macnab 临床疗效评价,治疗组优良率为 93.55%,高于对照组的 80.65%,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 4。

表 4 两组患者术后 12 个月改良 Macnab 疗效比较

组别	合计	疗效(例)				优良率(%)
		优	良	中	差	
治疗组	31	20	9	1	1	93.55
对照组	31	14	11	4	2	80.65
χ^2		6.067				
P		0.047				

2.5 并发症处理

治疗组中有 1 例患者术后第 2 天出现腰痛加重,这可能与穿刺侧皮下组织的出血、水肿及肌肉组织的

变性反应有关,嘱患者卧床休息,口服抗生素和非甾体消炎药,症状术后 1 周消失。对照组中有 2 例患者出现术后下肢疼痛不适、麻木,这可能与术中激光能量过大,汽化髓核组织的热能扩散对周围组织的刺激反应有关,同时在烧灼间隙未及时将汽化所产生的炙热气体抽出,导致出现热损伤造成周围组织如神经根水肿,是种可逆性损伤,给予地塞米松磷酸钠及甘露醇静滴 2~3 d 症状逐渐缓解。对以上 3 例患者进行 1 年随访,远期疗效良好。

3 讨论

3.1 PLDD 和臭氧注射治疗 LDH 的有效性及作用原理

腰椎间盘突出症是椎间盘发生退行性变以后,在

内外力共同作用下纤维环部分或完全破裂,单独或者连同髓核、软终板向外突出,刺激压迫神经根从而引起以腰腿疼为主要症状的一种病变。因此,解除突出物对神经根的压迫是 LDH 患者临床症状得以改善的关键因素。PLDD 作为一种有效治疗 LDH 的有效手段,以其对患者创伤小、花费少、恢复快、安全性高、治疗时间短、并发症少等优点易被广大患者所接受^[7],其基本原理是利用生物学的破坏反应作用,即高能激光对髓核组织进行汽化、切割、凝聚,从而使髓核体积缩小,椎间盘内压力降低,再加上后纵韧带以及外层纤维环的张力作用,使突出的髓核出现有效还纳^[8],髓核部分还纳后,降低对神经根的刺激和硬脊膜的压迫,恢复神经自主功能,促进局部血管扩张,从而达到目的^[9]。退变的椎间盘和神经根周围可诱发释放 BK、组胺,PGEL,乳酸及糖蛋白等炎性因子导致伤害感受器对疼痛的敏感度上升而产生相应临床症状,PLDD 可有效降低炎性因子浓度,减轻炎症刺激^[10]。也有研究者提出机械性神经根受压和微循环障碍引起的缺血、缺氧环境,使神经根水肿功能障碍加重,随之而来的化学炎症反应成为导致坐骨神经痛及其他临床症状的重要因素。PLDD 治疗后可改善神经根血流状况,有效缓解临床症状^[11]。而臭氧作为一种强氧化性的气体,对椎间盘的作用机制可概括为以下几点:1)氧化蛋白多糖的作用,臭氧注入髓核后能迅速氧化髓核内的蛋白多糖,使髓核水分丢失,渗透压降低,椎间盘容量减少,静脉淤血减轻,局部循环改善,氧供应增加^[12]。2)抗炎作用,臭氧既可刺激抑制炎症反应细胞因子的释放,还能通过刺激抗氧化酶的过度表达中和炎症反应中过量的活性氧,从而促进炎症吸收,消除神经根水肿和粘连^[13]。3)镇痛作用,臭氧能抑制脑啡肽等物质在中间神经元中的表达,清除神经系统中的自由基和炎症因子,减少致痛物质的释放,从而达到镇痛的效果^[14]。

3.2 结果分析及 PLDD 联合臭氧注射治疗 LDH 的优越性

微创治疗 LDH 已成联合趋势,在发挥单纯 PLDD 技术优势的基础上,采用联合疗法,巧妙结合,才能进一步提高疗效。孙运强等^[14]应用 PLDD 联合臭氧注射治疗 LDH 的有效率明显高于单一的一种微创手术方式。徐微尘^[15]应用 PLDD 与臭氧联合,在治疗原理上达到优势互补,对适应证有一定的扩大,临床疗效显著。唐伟伟等^[16]报道应用单纯经皮激光汽化减压术优良率为 84%,单纯臭氧溶解术优良率为 76%,而二者联合的优良率达 90.0%~94.3%,虽然疗效评价标准上略有不同,但总趋势上联合治疗有效率略高于单

纯治疗。本研究通过观察对比单纯 PLDD 治疗与 PLDD 联合臭氧注射治疗 LDH 的临床疗效差异,经过术后不同时间点的随访,结果表明治疗组患者术后 VAS 评分和 ODI 评分改善程度较对照组更为明显,差异有统计学意义($P<0.05$),且临床优良率高达 93.55%,明显高于对照组的 80.65%,差异有统计学意义($P<0.05$)。所有患者中有 1 例患者在术后第 2 天出现腰痛加重,2 例患者术后出现下肢疼痛、麻木症状,这可能与穿刺时下组织出血、水肿,术中激光能量过大,汽化髓核组织的热能扩散对周围组织如神经根的刺激反应有关,给予抗炎、消肿等对症处理后症状缓解。对以上 3 例患者进行随访,远期疗效良好。

激光汽化和臭氧注射联合治疗 LDH 疗效突出,笔者将两种治疗方法联合的优越性总结为以下 4 点:1)PLDD 与臭氧注射是从物理与化学两个不同的角度对髓核组织进行消融,使椎间盘内压力降低并伴有“空洞”形成,这为髓核组织的回缩提供强大的动力,为臭氧充分发挥作用提供足够的空间^[17],在确保短期疗效的同时、稳定了中远期疗效;2)PLDD 烧灼髓核组织可产生高达几百度甚至上千度的高温,而臭氧制取与外界环境温度相当,在 PLDD 术后注射臭氧可迅速冷却变性的蛋白质,中和热蓄积,减少并发症;3)臭氧可解除神经根水肿和粘连,促进髓核组织还纳,PLDD 治疗后并发有反应性椎间盘炎的可能,而臭氧对多种炎性因子所具有的抑制或灭活的生物学特性恰好与 PLDD 治疗在这一点上相互弥补、相辅相成;4)PLDD 与臭氧注射使用同一条穿刺路径,采用局部浸润麻醉,且激光能量可控,臭氧无毒副作用,创伤小、安全性高、住院时间短、利于患者早日康复。

综上所述,PLDD 作为 LDH 的一种微创治疗手段,在临床中应用广泛,将 PLDD 和臭氧注射联合治疗 LDH 能优势互补,且疗效显著,值得临床推广与应用。

参考文献

- [1] Kreiner DS, Hwang SW, Resnick DK, et al. An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of lumbar disc herniation with radiculopathy[J]. Spine J, 2014, 14(9):2273-2275.
- [2] 国家中医药管理局. 中医病证诊断疗效标准[M]. 南京: 南京大学出版社, 1994: 173.
- [3] 赵宁, 赵继荣, 王兴盛, 等. PLDD 联合臭氧盘内注射治疗腰椎间盘突出症的研究进展[J]. 中国激光医学杂志, 2015, 24(5): 277-280.
- [4] Truumees E. A history of lumbar disc herniation from hippocrates to the 1990s[J]. Clin Orthop Relat R, 2015, 473(6): 1885-1895.

- [5] Tonosu J, Takeshita K, Hara N, et al. The normative score and the cut-off value of the Oswestry disability index (ODI) [J]. *European Spine Journal*, 2012, 21 (8): 1596-1602.
- [6] Smith L. Enzyme dissolution of the nucleus pulpous in human [J]. *J Am Med Assoc*, 1964, 187: 137-140.
- [7] 苏寅, 李荣, 邢海清, 等. 经皮激光分区减压术治疗腰椎间盘突出症的疗效分析 [J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2013, 21 (10): 31-33.
- [8] 吕胜江. PLDD 治疗腰椎间盘突出症的治疗效果评估及其对脊柱的影响 [D]. 青岛: 青岛大学, 2017.
- [9] 周爱骏, 于国兴, 韩影, 等. 双极射频髓核成形术联合臭氧减压术治疗腰椎间盘突出症的临床应用 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2014, 30 (9): 883-885.
- [10] 杨礼庆, 付勤, 杨军, 等. 腰椎间盘突出症的椎间盘切除前后神经根血流变化 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2005, 13 (11): 837-839.
- [11] 赵宁, 赵继荣, 王兴盛, 等. PLDD 联合臭氧盘内注射治疗腰椎间盘突出症的研究进展 [J]. *中国激光医学杂志*, 2015, 24 (5): 277-280.
- [12] 李中锋, 邓强, 张彦军, 等. 经皮激光汽化术加臭氧配合牵引治疗腰椎间盘突出症 [J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2015, 23 (2): 11-14.
- [13] 陆兵. 医用臭氧治疗腰椎间盘突出症相关性疼痛中的效果研究 [D]. 重庆: 重庆理工大学, 2016.
- [14] 孙运强, 王福根, 孙岩, 等. 经皮激光椎间盘减压术联合穿通式注射臭氧治疗腰椎间盘突出症 [J]. *中国激光医学杂志*, 2010, 19 (1): 32-34.
- [15] 徐微尘. 激光臭氧联合与单纯使用激光治疗腰椎间盘突出症的临床疗效对比分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2013, 21 (19): 2004-2006.
- [16] 唐伟伟, 李端芳. 经皮激光汽化联合臭氧消融治疗腰椎间盘突出症的随机对照试验 [J]. *激光杂志*, 2015, 36 (4): 198-200.
- [17] Kelekis A, Filippiadis DK. Percutaneous treatment of cervical and lumbar herniated disc [J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84 (5): 771-776. (收稿日期: 2017-12-05)

(上接第 22 页)

- [5] 孙树椿. 实用推拿手法操作图谱 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1988: 114-115.
- [6] Johansson G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis [J]. *Perception & Psychophysics*, 1973, 14 (2): 201-211.
- [7] Burke M, Lasenby J. Estimating missing marker positions using low dimensional Kalman smoothing [J]. *Biomech*, 2016, 49 (9): 1854-1858.
- [8] 吴腾飞, 吴晓明, 胡丹, 等. 基于光学运动捕捉系统的肩关节运动学分析研究进展 [J]. *中华肩肘外科电子杂志*, 2016, 4 (4): 248-250.
- [9] Schmid S, Studer D, Hasler CC, et al. Quantifying spinal gait kinematics using an enhanced optical motion capture approach in adolescent idiopathic scoliosis [J]. *Gait Posture*, 2016, 44 (1): 231-237.
- [10] Lamine H, Bennour S, Laribi M. Evaluation of calibrated kinect gait kinematics using a vicon motion capture system [J]. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2017, 20 (sup1): 111-112.
- [11] Rucco R, Agosti V, Jacini F, et al. Spatio-temporal and kinematic gait analysis in patients with Frontotemporal dementia and Alzheimer's disease through 3D motion capture [J]. *Gait Posture*, 2017, 52: 312-317.
- [12] 黄法森, 张清, 王海洋, 等. 运动捕捉技术在推拿手法生物力学研究中的应用 [J]. *中医正骨*, 2017, 29 (11): 41-43.
- [13] 洗思彤, 于天源, 刘卉, 等. 掌振法运动轨迹的生物力学分析 [J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31 (10): 1084-1087.
- [14] Mijailovic N, Vulovic R, Milankovic I, et al. Assessment of knee cartilage stress distribution and deformation using motion capture system and wearable sensors for force ratio detection [J]. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2015: 963746.
- [15] Cerveri P, Pedotti A, Ferrigno G. Kinematical models to reduce the effect of skin artifacts on marker-based human motion estimation [J]. *Journal of Biomechanics*, 2005, 38 (11): 2228-2236.
- [16] Schwartz C, Denoël V, Forthomme B, et al. Merging multi-camera data to reduce motion analysis instrumental errors using Kalman filters [J]. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*, 2015, 18 (9): 952-960.
- [17] Kuxhaus L, Schimoler PJ, Viperman JS, et al. Effects of camera switching on fine accuracy in a motion capture system [J]. *J Biomech Eng*, 2009, 131 (1): 014502. (收稿日期: 2018-04-14)