

多角度等速肌力训练对膝关节置换术后膝关节活动度及本体感觉恢复效果

张彭¹, 杨鹏², 赵菁², 钟俊桥³, 万绍勇⁴

(1.中国矿业大学体育学院,江苏徐州 221116; 2.哈尔滨工业大学体育部,黑龙江哈尔滨 150006;

3.井冈山大学附属医院骨一科,江西吉安 343000; 4.井冈山大学体育学院,江西吉安 343009)

摘要:目的 探讨不同角度等速肌力训练对膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)后膝关节活动度及本体感觉的影响。方法 选择2021年1月至2022年6月在井冈山大学附属医院行TKA手术患者96例,48~74岁,平均(62.92±4.36)岁,其中男49例,女47例。在等速肌力训练中,根据不同膝关节屈曲范围分为0°~30°组、31°~60°组和61°~90°组,每组32例。对比3组患者治疗前和治疗2个月后肌力指标、临床指标及本体感觉相关指标,并分析不同角度等速肌力训练后膝关节活动度(range of motion, ROM)与本体感觉之间的相关性。结果 3组患者治疗2个月后股四头肌、小腿三头肌各项肌力指标均显著高于治疗前($P<0.05$),治疗2个月后31°~60°组患者股四头肌各项肌力相关指标均显著高于0°~30°组和61°~90°组,而0°~30°组小腿三头肌各项肌力相关指标均显著高于31°~60°组和61°~90°组($P<0.05$)。3组患者治疗后ROM、“起立-行走”计时(time “up and go” test, TUGT)时间、视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评分、Berg平衡量表(Berg balance scale, BBS)评分及美国特种外科医院膝关节功能(hospital for special surgery, HSS)评分均有显著改善($P<0.05$),0°~30°组治疗后ROM、HSS评分显著高于31°~60°组和61°~90°组,31°~60°组TUGT时间则显著低于0°~30°组和61°~90°组($P<0.05$);0°~30°组和31°~60°组治疗后BBS评分均高于61°~90°组($P<0.05$);3组患者治疗后VAS评分差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后被动运动阈值测量(threshold to detection of passive movement, TDPM)和主动角度重现(active angle reproduction, AAR)得到显著改善($P<0.05$);31°~60°组治疗后TDPM(30°、45°、60°)和AAR(30°、45°、60°)均显著低于0°~30°组和61°~90°组($P<0.05$)。Pearson分析结果显示,等速肌力训练角度为0°~30°时,治疗后膝关节ROM与AAR 30°($r=-0.50, P=0.03$)存在相关性;等速肌力训练角度为31°~60°时,治疗后膝关节ROM与TDPM 30°($r=-0.49, P=0.04$)、TDPM 45°($r=-0.52, P=0.03$)、AAR 45°($r=-0.62, P=0.00$)及AAR 60°($r=-0.59, P=0.01$)存在相关性。结论 不同角度的股四头肌等速肌力训练,均有助于加速TKA术后患者的康复进程,其中训练范围为31°~60°可以更好地改善患者术后本体感觉和股四头肌肌力,0°~30°范围内的股四头肌等速训练对患者小腿三头肌肌力、ROM、HSS评分改善效果最为显著。

关键词:等速肌力训练;膝关节置换术;膝关节活动度;本体感觉

中图分类号:R687.409

文献标志码:A

Effect of multi-angle isokinetic muscle strength training on the recovery of knee motion and proprioception after knee arthroplasty

ZHANG Peng¹, YANG Peng², ZHAO Jing², ZHONG Junqiao³, WAN Shaoyong⁴

(1. School of Physical Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China;

2. Department of Physical Education, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, Heilongjiang, China;

3. Department of Orthopedics, Affiliated Hospital of Jinggangshan University, Ji'an 343000, Jiangxi, China;

4. School of Physical Education, Jinggangshan University, Ji'an 343009, Jiangxi, China)

Abstract: Objective To investigate the effect of different angle isokinetic muscle strength training on knee joint motion and proprioception after total knee arthroplasty (TKA). **Methods** A total of 96 patients who underwent TKA in Affiliated Hospital of Jiangangshan University from January 2021 to June 2022 were selected, aged 37-74 years, with a mean age of 52.72 ± 5.37 years. The patients were divided into group 0° - 30° , group 31° - 60° and group 61° - 90° according to the range of knee flexion during isokinetic training. Muscle strength index, clinical index and proprioceptive index were compared before and after treatment in the three groups. The correlation between knee ROM and proprioception was analysed after isokinetic strength training at different angles. **Results** After treatment, the muscle strength indexes of the quadriceps femoris and triceps cruris were significantly higher in the three groups than those before treatment ($P < 0.05$). After treatment, the muscle strength related indexes of quadriceps femoris in group 31° - 60° were significantly higher than those in group 0° - 30° and group 31° - 60° , while the muscle strength related indexes of triceps cruris in group 0° - 30° were significantly higher than those in group 31° - 60° and group 31° - 60° ($P < 0.05$). After treatment, range of motion (ROM), time "up and go" test (TUGT), visual analogue scale (VAS), Berg balance scale (BBS) score and hospital for special surgery (HSS) score were significantly improved in the three groups ($P < 0.05$). The ROM and HSS scores of group 0° - 30° were significantly higher than those in group 31° - 60° and group 31° - 60° , and the TUGT time of group 31° - 60° was significantly lower than that of group 0° - 30° and group 31° - 60° ($P < 0.05$). The BBS scores of group 0° - 30° and group 31° - 60° were higher than those of group 31° - 60° after treatment ($P < 0.05$). There was no significant difference in VAS score between the three groups after treatment ($P > 0.05$). TDPM and AAR were significantly improved after treatment ($P < 0.05$). After treatment, TDPM (30° , 45° , 60°) and AAR (30° , 45° , 60°) in group 31° - 60° were significantly lower than those in group 0° - 30° and group 31° - 60° ($P < 0.05$). When the training angle of isokinetic muscle strength was 0° - 30° , there was a correlation between knee ROM and AAR 30° after treatment ($r = -0.50$, $P = 0.03$). When the training angle of isokinetic muscle strength was 31° - 60° , the knee joint ROM after treatment was correlated with TDPM 30° ($r = -0.49$, $P = 0.04$), TDPM 45° ($r = -0.52$, $P = 0.03$), AAR 45° ($r = -0.62$, $P = 0.00$) and AAR 60° ($r = -0.59$, $P = 0.03$). **Conclusion** Isokinetic quadriceps muscle strength training at different angles can effectively promote the rehabilitation of patients after TKA, among which isokinetic quadriceps muscle strength training in the range of 31° - 60° can better improve the postoperative proprioception and quadriceps muscle strength of patients. In the range of 0° - 30° , quadriceps isometric training has the most significant improvement effect on the muscle strength, ROM and HSS scores of patients' calf triceps.

Key words: Isokinetic muscle strength training; Knee replacement; Knee joint motion; Proprioception

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是治疗膝关节严重疾病、缓解膝关节疼痛、恢复膝关节功能的重要手段,其手术技术和假体设计都在不断进步,在最大程度上恢复肢体相关生理功能,有效改善患者生活质量^[1]。但TKA术后恢复较慢且需要长时间制动,同时并发症发生率较高,因此术后早期康复训练对恢复关节功能至关重要,尤其在TKA术后,恢复患肢肌力是基础。

股四头肌肌力异常易引发髌股关节疼痛和假体松动等并发症,影响膝关节功能^[2-3]。等速肌力训练能兴奋神经活动,提高肌肉快肌纤维比例,快速恢复肌肉力量,平衡关节力学。相较于传统训练方式,等速肌力训练更注重肌肉力量输出和关节稳定性,效果更佳^[4]。有研究表明,在不同角度下进行等速肌力训练,股四头肌对膝关节的作用也有所不同^[5]。膝关节活动度(range of motion, ROM)和关节本体感觉可以作为评价TKA术后效果的重要指标,TKA术后康复训练能够有效恢复患者膝关节ROM及功能,ROM也通常被用以评估TKA手术以

及相关康复干预效果中。膝关节本体感觉对关节稳定、平衡及运动姿势控制起关键作用。它提供关节位置和运动状态信息,协调肌肉活动,维持关节稳定与平衡。保持本体感觉功能对关节健康和正常运动至关重要^[6]。但目前有关等速肌力训练角度与膝关节ROM、关节本体感觉相关性研究较少。本文就不同角度等速肌力训练对TKA术后膝关节ROM及本体感觉的影响开展回顾性研究,为TKA术后肌力训练方案的制定提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2021年1月至2022年6月在井冈山大学附属医院行TKA手术患者96例,其中男49例,女47例,48~74岁,平均(62.92 ± 4.36)岁。在等速肌力训练中,根据不同膝关节屈曲范围分为 0° ~ 30° 组、 31° ~ 60° 组和 61° ~ 90° 组,每组32例。纳入标准:①单侧TKA手术;②年龄 >18 岁;③TKA后X

线检测显示假体位置良好;④患者自愿签署知情同意书;⑤TKA手术均在气管插管全身麻醉下进行,采用前正中切口、髌旁内侧入路手术;⑥临床资料完整。排除标准:①TKA术后严重感染者;②精神性疾病者;③双侧膝关节功能病变者;④既往接受膝关节或下肢骨折手术;⑤重度骨质疏松症患者;⑥依从性较差者。本研究治疗方案已通过井冈山大学附属医院医学伦理委员会批准(批号:AHJU-2020120027)。

1.2 方法

1.2.1 等速肌力训练

术后1 d,患者在医生的指导下进行常规康复训练;术后1~3 d,向心性按摩术侧下肢,进行被动或主动膝关节活动度训练,同时进行股四头肌和臀肌等长收缩练习、踝泵练习等,20~40 min/次,2次/d;术后4~7 d增加直腿抬高练习、适应性站立练习等,20~40 min/次,2次/d;术后8 d,以下地负重行走训练为主,根据患者恢复情况增加负重重量和延长训练时间。患者在常规康复训练基础上使用ISOMED2000型等速肌力训练系统(图1),训练过程如下:嘱患者保持坐位,髋部与躯干角度 110° ,将关节轴心设定为股骨外髌、正对动力臂轴心,固定腰腿部、胸部等可产生代偿的部位,先行慢速,再行快速肌力测试,慢速测试屈伸5次,每次间隔10 s,快速测试屈伸20次,每次间隔10 s。随后开展等速肌力康复训练:在患者疼痛可耐受的前提下,选择不同的膝关节屈曲角度范围: $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、 $31^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 和 $61^{\circ}\sim 90^{\circ}$,训练速度设定为 $30^{\circ}/s$,患者每天接受2次训练,每次训练3组,每组10次,间隔1 min,共治疗2个月。



图1 等速肌力训练系统

Figure 1 Isokinetic muscle strength training system

1.2.2 资料收集

收集患者的基本资料和临床资料,其中包括患者性别、年龄、体质量指数(body mass index,

BMI)、术前病程及患侧。患者住院期间由康复师指导锻炼,出院后每日至康复科门诊,专业指导下完成康复训练并记录相关数据,治疗前和治疗2个月后临床评估指标包括膝关节活动度(range of motion, ROM)、“起立-行走”计时(time “up and go” test, TUGT)、视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评分、Berg平衡量表(Berg balance scale, BBS)评分及美国特种外科医院膝关节功能(hospital for special surgery, HSS)评分。评估标准:①采用HSS评分^[7]体系评估膝关节功能,该体系满分为100分,评分越高,膝关节功能表现越好;②测定ROM,使用标准手持式量角器测量患侧下肢近端轴线与远端轴线之间的夹角角度,在患者自主屈曲和伸直膝关节到达极限时,分别测量两轴线之间的夹角,每例患者测试3次后取平均值;③VAS评分^[8]用于评估患者膝关节的疼痛程度,总分为10分,评分越高,疼痛程度越严重;④TUGT评估患者功能性步行能力,TUGT时间越短,代表功能性步行能力越强;⑤BBS^[9]评估患者平衡能力,总分为56分,得分越高,患者平衡能力越好。

1.2.3 肌力测试

利用BIODEX Sytem4等速肌力测试训练系统,对患者进行股四头肌、腓绳肌、胫前肌及小腿三头肌的肌力测量。患者热身5 min后坐在测试椅上,角度调整为 90° ,确保膝关节的轴心与仪器动力臂轴保持一致。测试速度设置为 $60^{\circ}/s$ 。所测定的内容包括峰力矩、平均功率、总功率、伸屈肌的单次最大做功量和力矩加速能量。

1.2.4 膝关节本体感觉测试

采用主动角度重现(active angle reproduction, AAR)^[10]测试患者治疗前后膝关节位置觉,患者带眼罩、耳塞并穿过膝的长筒袜,避免视觉、听觉及触觉干扰。患者坐在测试椅上,起始位置设定为膝关节屈曲 90° 。在起始位置的基础上,测试人员将患者的患膝被动屈曲至 30° 、 45° 和 60° ,并停留10 s。然后,测试人员将患者的患膝回到起始位置。患者根据之前的感受和记忆,主动将患膝再次屈曲到之前设定的角度,并停留10 s。采用电子关节角度尺测量设定角度和患者模拟角度之间的差值。每个角度重复3次,取平均值。

采用被动运动阈值测量(threshold to detection of passive movement, TDPM)^[11]测试患者治疗前后膝关节运动觉,患者带耳塞和眼罩,并穿过膝的长筒袜,避免视觉、听觉及触觉干扰。利用等速肌力训练仪进行膝关节被动伸直运动,角速度设定为 $1^{\circ}/s$,

初始角度设定为 30°、45°、60°。当患者感觉膝关节运动时停止仪器,记录初始角度和最终角度的差值,每次测试重复 3 次取平均值。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 22.0 统计学软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料以 $n(\%)$ 表示,组间比较采用 F 检验、 t 检验、 χ^2 检验。单因素分析不同角度等速肌力训练对 TKA 患者肌力、本体感觉及其他临床指标的影响。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用 Pearson 法分析不同角度等速肌力训练后膝关节 ROM 与本体感觉的相关性, $|r| > 0.8$ 为极高度相关, $0.6 \leq |r| <$

0.8 为高度相关, $0.4 \leq |r| < 0.6$ 为中度相关, $0.2 \leq |r| < 0.4$ 为低度相关, $|r| < 0.2$ 基本不相关。

2 结果

2.1 3 组患者基本资料对比

对不同角度股四头肌等速肌力训练的 TKA 患者基本资料进行对比,3 组患者术前病程、年龄、止血带时间、BMI、患侧及性别均差异无统计学意义 ($P > 0.05$),见表 1。

表 1 3 组患者基本资料
Table 1 Comparison of baseline characteristics of the three patients groups

| 指标 | 0°~30°组 | 31°~60°组 | 61°~90°组 | χ^2/F | P |
|-----------|------------|------------|------------|------------|-------|
| 年龄/岁 | 63.46±4.36 | 62.86±4.87 | 62.44±4.25 | 0.415 | 0.662 |
| 性别 | | | | 0.584 | 0.747 |
| 男 | 15(46.88) | 18(56.25) | 16(50.00) | | |
| 女 | 17(53.13) | 14(43.75) | 16(50.00) | | |
| BMI | 23.52±3.66 | 23.68±3.34 | 23.76±3.27 | 0.262 | 0.853 |
| 术前病程/月 | 20.69±4.73 | 21.06±4.18 | 20.78±4.63 | 0.482 | 0.654 |
| 患侧 | | | | 0.750 | 0.687 |
| 左侧 | 14(43.75) | 17(53.13) | 17(53.13) | | |
| 右侧 | 18(56.25) | 15(46.88) | 15(46.88) | | |
| 止血带时间/min | 32.64±5.82 | 33.25±6.74 | 32.83±5.67 | 0.084 | 0.920 |

2.2 不同角度等速肌力训练患者股四头肌肌力比较

3 组患者治疗后各项股四头肌肌力指标均显著高于治疗前 ($P < 0.05$),其中 31°~60°组患者伸肌单

次最大做功量、屈肌单次最大做功量、峰力矩、伸肌力矩加速能量、屈肌力矩加速能量、总功率及平均功率均显著高于 0°~30°组和 61°~90°组 ($P < 0.05$),见表 2。

表 2 3 组患者股四头肌肌力对比
Table 2 Comparison of quadriceps muscle strength among the three groups

| 指标 | 0°~30°组 | 31°~60°组 | 61°~90°组 | F | P |
|-------------|-------------|----------------|-----------------------|--------|--------|
| 峰力矩/Nm | | | | | |
| 治疗前 | 51.37±4.58 | 52.48±4.37 | 52.90±5.62 | 0.371 | 0.754 |
| 治疗后 | 63.50±3.47* | 75.32±3.60*# | 65.33±2.84*# Δ | 6.353 | 0.037 |
| 总功率/J | | | | | |
| 治疗前 | 63.26±3.37 | 62.82±4.74 | 61.77±4.61 | 0.485 | 0.674 |
| 治疗后 | 87.52±7.76* | 104.32±10.40*# | 86.17±8.65*# Δ | 7.832 | 0.014 |
| 平均功率/J | | | | | |
| 治疗前 | 11.13±1.21 | 10.86±1.54 | 11.08±1.24 | 0.314 | 0.846 |
| 治疗后 | 17.35±3.42* | 19.47±2.65*# | 17.28±3.64*# Δ | 7.477 | 0.016 |
| 伸肌单次最大做功量/J | | | | | |
| 治疗前 | 19.70±4.62 | 20.23±5.38 | 20.17±4.62 | 0.297 | 0.867 |
| 治疗后 | 28.85±6.34* | 35.42±8.45*# | 27.77±6.46*# Δ | 12.516 | <0.001 |
| 屈肌单次最大做功量/J | | | | | |
| 治疗前 | 34.30±5.17 | 33.26±5.51 | 32.88±5.74 | 0.511 | 0.631 |
| 治疗后 | 48.63±7.82* | 55.65±7.72*# | 47.63±6.81*# Δ | 8.863 | 0.008 |
| 伸肌力矩加速能量/J | | | | | |
| 治疗前 | 4.41±1.75 | 4.36±1.27 | 4.42±1.11 | 0.402 | 0.723 |
| 治疗后 | 6.41±2.28* | 7.96±2.84*# | 6.53±2.51*# Δ | 9.372 | 0.004 |
| 屈肌力矩加速能量/J | | | | | |
| 治疗前 | 4.77±1.63 | 5.04±1.53 | 4.87±1.68 | 0.461 | 0.690 |
| 治疗后 | 6.72±2.68* | 8.83±2.85*# | 7.40±1.61*# Δ | 10.720 | 0.001 |

* $P < 0.05$ vs. 治疗前; # $P < 0.05$ vs. 0°~30°组; $\Delta P < 0.05$ vs. 31°~60°组。

2.3 不同角度等速肌力训练患者小腿三头肌肌力比较

3组患者治疗后各项小腿三头肌肌力指标均显著高于治疗前($P<0.05$),其中 $0^\circ\sim 30^\circ$ 组患者治疗后峰力矩、总功率、平均功率、伸肌单次最大做

功量、屈肌单次最大做功量、伸肌力矩加速能量及屈肌力矩加速能量均显著高于 $31^\circ\sim 60^\circ$ 组和 $61^\circ\sim 90^\circ$ 组($P<0.05$), $31^\circ\sim 60^\circ$ 组与 $61^\circ\sim 90^\circ$ 组各项肌力测定指标均差异无统计学意义($P>0.05$)。见表3。

表3 3组患者小腿三头肌肌力对比
Table 3 Comparison of muscle strength of triceps calf in three groups

| 指标 | $0^\circ\sim 30^\circ$ 组 | $31^\circ\sim 60^\circ$ 组 | $61^\circ\sim 90^\circ$ 组 | F | P |
|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|--------|
| 峰力矩/Nm | | | | | |
| 治疗前 | 50.74±4.32 | 51.65±4.48 | 51.93±5.52 | 0.350 | 0.824 |
| 治疗后 | 68.74±3.63* | 55.28±3.45*# | 56.70±2.53*# | 13.426 | <0.001 |
| 总功率/J | | | | | |
| 治疗前 | 62.52±3.43 | 61.76±4.38 | 62.52±4.73 | 0.463 | 0.742 |
| 治疗后 | 97.18±7.28* | 74.34±10.53*# | 76.29±8.82*# | 8.024 | 0.011 |
| 平均功率/J | | | | | |
| 治疗前 | 11.76±1.34 | 11.85±1.76 | 11.37±1.28 | 0.326 | 0.833 |
| 治疗后 | 18.65±3.30* | 16.75±2.18*# | 16.26±3.73*# | 6.650 | 0.031 |
| 伸肌单次最大做功量/J | | | | | |
| 治疗前 | 19.74±4.35 | 20.21±5.58 | 19.63±4.75 | 0.515 | 0.693 |
| 治疗后 | 29.83±6.82* | 25.72±8.70*# | 26.23±6.52*# | 6.442 | 0.033 |
| 屈肌单次最大做功量/J | | | | | |
| 治疗前 | 27.31±5.23 | 27.42±5.17 | 26.85±5.73 | 0.596 | 0.624 |
| 治疗后 | 46.62±7.84* | 33.45±7.82*# | 31.65±6.86*# | 8.726 | 0.006 |
| 伸肌力矩加速能量/J | | | | | |
| 治疗前 | 4.35±1.76 | 4.38±1.27 | 4.41±1.37 | 0.418 | 0.768 |
| 治疗后 | 7.50±2.17* | 6.15±2.52*# | 6.59±1.32*# | 7.953 | 0.012 |
| 屈肌力矩加速能量/J | | | | | |
| 治疗前 | 4.83±1.52 | 5.04±1.35 | 4.96±1.67 | 0.573 | 0.640 |
| 治疗后 | 7.74±2.65* | 6.03±2.56*# | 5.41±1.62*# | 8.362 | 0.007 |

* $P<0.05$ vs. 治疗前;# $P<0.05$ vs. $0^\circ\sim 30^\circ$ 组。

2.4 3组患者各项临床指标的对比

3组患者治疗后ROM、TUGT时间、VAS评分、BBS评分及HSS评分均显著改善($P<0.05$), $0^\circ\sim 30^\circ$ 组治疗后ROM、HSS评分显著高于 $31^\circ\sim 60^\circ$ 组和 $61^\circ\sim 90^\circ$ 组, $31^\circ\sim 60^\circ$ 组TUGT时间则显

著低于 $0^\circ\sim 30^\circ$ 组和 $61^\circ\sim 90^\circ$ 组($P<0.05$); $0^\circ\sim 30^\circ$ 组和 $31^\circ\sim 60^\circ$ 组治疗后BBS评分均高于 $61^\circ\sim 90^\circ$ 组,差异有统计学意义($P<0.05$);3组患者治疗后VAS评分差异无统计学意义($P>0.05$)。见表4。

表4 3组患者各项临床指标的对比
Table 4 Comparison of clinical indicators among the patients in three groups

| 指标 | $0^\circ\sim 30^\circ$ 组 | $31^\circ\sim 60^\circ$ 组 | $61^\circ\sim 90^\circ$ 组 | F | P |
|---------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-------|
| ROM/ $^\circ$ | | | | | |
| 治疗前 | 88.72±6.35 | 89.84±6.73 | 88.30±7.26 | 0.318 | 0.843 |
| 治疗后 | 105.52±9.17* | 98.36±8.78*# | 94.75±8.35*# | 6.650 | 0.021 |
| TUGT 时间/s | | | | | |
| 治疗前 | 31.76±4.75 | 29.22±5.50 | 30.65±4.73 | 0.565 | 0.653 |
| 治疗后 | 19.73±6.81* | 15.62±8.75*# | 18.24±6.54* Δ | 7.253 | 0.017 |
| VAS 评分/分 | | | | | |
| 治疗前 | 4.41±1.43 | 4.42±1.67 | 4.47±1.75 | 0.287 | 0.862 |
| 治疗后 | 1.72±0.64* | 1.66±0.73* | 1.65±0.81* | 0.825 | 0.451 |
| BBS 评分/分 | | | | | |
| 治疗前 | 34.34±2.64 | 35.39±2.24 | 35.43±2.35 | 0.372 | 0.803 |
| 治疗后 | 49.56±3.38* | 51.12±3.57* | 46.54±2.81*# Δ | 8.863 | 0.003 |
| HSS 评分/分 | | | | | |
| 治疗前 | 72.72±8.30 | 73.95±7.74 | 71.38±8.25 | 0.448 | 0.746 |
| 治疗后 | 86.75±9.38* | 76.26±11.76*# | 78.65±7.31*# | 7.992 | 0.010 |

* $P<0.05$ vs. 治疗前;# $P<0.05$ vs. $0^\circ\sim 30^\circ$ 组; Δ $P<0.05$ vs. $31^\circ\sim 60^\circ$ 组。

2.5 3组治疗前后膝关节本体感觉对比

治疗前3组患者各项本体感觉指标差异无统计学意义($P>0.05$),与治疗前相比,治疗后 TDPM 和

AAR 得到显著改善($P<0.05$); $31^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 组治疗后 TDPM(30° 、 45° 、 60°)和 AAR(30° 、 45° 、 60°)均显著低于 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 组和 $61^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 组($P<0.05$)。见表5。

表5 3组患者治疗前后膝关节本体感觉对比

Table 5 Comparison of knee joint proprioception before and after treatment among the three groups

| 指标 | $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 组 | $31^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 组 | $61^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 组 | <i>F</i> | <i>P</i> |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|----------|
| TDPM | | | | | |
| 角度/ 30° | | | | | |
| 治疗前 | 4.41±0.35 | 4.38±0.66 | 4.46±0.62 | 0.583 | 0.652 |
| 治疗后 | 2.82±0.46* | 2.32±0.43** | 2.67±0.60 ^{#Δ} | 8.253 | 0.016 |
| 角度/ 45° | | | | | |
| 治疗前 | 3.43±0.63 | 3.36±0.54 | 3.38±0.75 | 0.425 | 0.773 |
| 治疗后 | 2.15±0.42* | 1.47±0.32** | 1.88±0.41 ^{#Δ} | 14.263 | <0.001 |
| 角度/ 60° | | | | | |
| 治疗前 | 3.70±0.60 | 3.63±0.39 | 3.77±0.67 | 0.667 | 0.584 |
| 治疗后 | 2.85±0.31* | 1.72±0.44** | 2.27±0.48* ^{#Δ} | 12.556 | <0.001 |
| AAR | | | | | |
| 角度/ 30° | | | | | |
| 治疗前 | 6.19±1.41 | 6.22±1.55 | 6.23±1.72 | 0.320 | 0.841 |
| 治疗后 | 4.53±1.32* | 3.65±1.22** | 4.13±1.23 ^{#Δ} | 8.413 | 0.014 |
| 角度/ 45° | | | | | |
| 治疗前 | 5.92±1.73 | 5.83±1.22 | 6.04±1.15 | 0.458 | 0.762 |
| 治疗后 | 4.41±1.20* | 3.66±1.35** | 4.51±1.16 ^{#Δ} | 7.962 | 0.018 |
| 角度/ 60° | | | | | |
| 治疗前 | 6.57±1.68 | 6.54±1.56 | 6.43±1.67 | 0.384 | 0.801 |
| 治疗后 | 4.12±1.18* | 3.31±1.30** | 3.96±1.23 ^{#Δ} | 6.835 | 0.027 |

* $P<0.05$ vs. 治疗前; # $P<0.05$ vs. $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 组; Δ $P<0.05$ vs. $31^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 组。

2.6 不同角度等速肌力训练后膝关节 ROM 与 TDPM 的相关性分析

不同角度等速肌力训练治疗前后膝关节 ROM 与 TDPM 的相关性分析结果显示,治疗前膝关节

ROM 与 TDPM 无相关性($P>0.05$),等速肌力训练角度为 $31^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 时,治疗后膝关节 ROM 与 TDPM 30° ($r=-0.49$, $P=0.04$)、TDPM 45° ($r=-0.52$, $P=0.03$)呈中度相关性。见表6。

表6 不同角度等速肌力训练前后膝关节 ROM 与 TDPM 的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of knee ROM and TDPM after isokinetic muscle strength training at different angles

| 时间点 | 等速肌力 训练角度/ $^{\circ}$ | TDPM 30° | | TDPM 45° | | TDPM 60° | |
|-----|--------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| | | <i>r</i> | <i>P</i> | <i>r</i> | <i>P</i> | <i>r</i> | <i>P</i> |
| 治疗前 | 0~30 | 0.26 | 0.30 | 0.26 | 0.30 | -0.18 | 0.48 |
| | 31~60 | 0.17 | 0.50 | -0.10 | 0.69 | -0.18 | 0.48 |
| | 61~90 | 0.04 | 0.89 | 0.13 | 0.63 | -0.15 | 0.55 |
| 治疗后 | 0~30 | -0.02 | 0.94 | -0.24 | 0.37 | 0.29 | 0.27 |
| | 31~60 | -0.49 | 0.04 | -0.52 | 0.03 | 0.12 | 0.67 |
| | 61~90 | 0.29 | 0.27 | -0.09 | 0.73 | 0.11 | 0.68 |

2.7 不同角度等速肌力训练后膝关节 ROM 与 AAR 的相关性分析

不同角度等速肌力训练治疗前后膝关节 ROM 与 AAR 的相关性分析结果显示,治疗前膝关节 ROM 与 AAR 无相关性($P>0.05$),等速肌力训练角度为 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 时,治疗后膝关节 ROM 与

AAR 30° ($r=-0.50$, $P=0.03$)呈中度相关性;等速肌力训练角度为 $31^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 时,治疗后膝关节 ROM 与 AAR 45° ($r=-0.62$, $P<0.01$)呈高度相关性,膝关节 ROM 与 AAR 60° ($r=-0.59$, $P=0.01$)呈中度相关性。见表7。

表7 不同角度等速肌力训练后膝关节 ROM 与 AAR 的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of knee joint ROM and AAR after isokinetic muscle strength training at different angles

| 时间点 | 等速肌力 训练角度/° | TDPM 30° | | TDPM 45° | | TDPM 60° | |
|-----|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | <i>r</i> | <i>P</i> | <i>r</i> | <i>P</i> | <i>r</i> | <i>P</i> |
| 治疗前 | 0~30 | 0.01 | 0.97 | -0.19 | 0.46 | 0.22 | 0.40 |
| | 31~60 | 0.29 | 0.27 | 0.09 | 0.73 | -0.07 | 0.78 |
| | 61~90 | 0.04 | 0.89 | 0.26 | 0.30 | -0.28 | 0.27 |
| 治疗后 | 0~30 | -0.50 | 0.03 | -0.30 | 0.25 | 0.05 | 0.85 |
| | 31~60 | -0.07 | 0.78 | -0.62 | <0.01 | -0.59 | 0.01 |
| | 61~90 | -0.29 | 0.27 | 0.02 | 0.94 | 0.18 | 0.48 |

3 讨论

TKA 采用人工膝关节替换病变膝关节,从而促进患者关节功能恢复,在手术过程中,需要对患者膝关节进行一系列操作,包括软组织剥离、截骨以及清除增生滑膜组织等,TKA 术后需进行康复训练,以维持人工关节稳定性,保持较好的关节活动范围,提高周围肌肉组织肌力,满足患者日常生活需要^[12-14]。等速肌力训练是肢体顺应性的肌力运动,在运动中不会产生加速度,也不因外力变化而改变速度^[15-16]。这种训练方式在康复医学领域具有广泛的应用价值,有助于平衡关节力学。通过激活肌糖原和线粒体酶等途径,等速肌力训练可提高肌肉快肌纤维比例,增强肌肉力量和稳定性。研究证实,TKA 术后进行等速肌力训练,可加速肌肉力量恢复,提高关节稳定性和运动能力,对患者的术后康复和生活质量具有重要意义^[17]。本研究结果显示,等速肌力训练范围为 31°~60°可以更好的改善患者术后本体感觉和股四头肌肌力,0°~30°范围内的股四头肌等速训练对患者小腿三头肌肌力、ROM、HSS 评分改善效果最为显著。

等速肌力训练可以通过不同角度的训练以适应不同运动需求^[18]。刘文辉等^[3]研究表明,不同角度的股四头肌等速肌力训练能促进骨科手术患者康复,其中 31°~60°训练效果最佳,能激活肌肉纤维、提高肌肉力量和关节稳定性,有助于恢复关节功能和日常生活能力。本研究结果显示,31°~60°组股四头肌峰力矩、总功率、平均功率、伸肌单次最大做功量、伸肌力矩加速能量、屈肌单次最大做功量及屈肌力矩加速能量均显著高于 0°~30°组和 61°~90°组,但 0°~30°组各项小腿三头肌肌力指标显著高于 31°~60°组和 61°~90°组。四头肌是下肢的重要部分,包括股直肌、股外侧肌、股内侧肌和股中间肌,对维持膝关节稳定和下肢运动功能起关键作用。股内侧肌分为内直肌和内斜肌,内斜肌与股骨长轴呈 50°夹角,运动时产生的肌力与下肢机械轴有 50°~60°夹角,能牵拉髌骨维持膝关节稳定,膝关节屈膝

31°~60°时股内侧肌产生最大肌力^[19-20]。因此,可以根据患者术后个人情况定制合理的训练计划和个性化指导,有利于术后关节功能的恢复。

据报道 TKA 术后不同角度等速肌力训练对患者 ROM、膝关节稳定性及膝关节屈曲挛缩程度等改善作用也有所不同^[21]。经过肌电图、CT 检测显示,在屈膝 0°~30°范围内,股内斜肌对髌骨的力学作用最大,临床证实膝关节屈曲 0°~30°等速肌力训练对 TKA 术后关节功能的改善效果更为明显^[5]。本研究结果显示,治疗后各组患者 ROM、TUGT 时间、VAS 评分及 HSS 评分均得到显著改善,训练角度设定为 0°~30°患者 ROM 和 HSS 评分更高,而训练角度为 31°~60°时 TUGT 时间更低,等速肌力训练角度对患者术后疼痛的影响不明显。本体感觉是运动器官在运动或静止时产生的感觉,在膝关节功能中,本体感觉起到关键作用,提供关节位置、运动和力量的信息。TKA 手术中关节软组织剥离导致本体感觉功能减退或丧失,影响患者膝关节功能,患者在下肢的运动能力和平衡功能方面表现较差^[22]。本研究在不同角度等速肌力训练对 TKA 术后本体功能的影响中发现,与治疗前相比,治疗后 TDPM 和 AAR 得到显著改善,训练角度为 31°~60°的患者治疗后 TDPM(30°、45°、60°)和 AAR(30°、45°、60°)角度均显著低于其他组。本体感觉训练也可以改善患者的平衡功能,且膝关节本体感觉与平衡功能呈正相关关系^[23],3 组患者治疗后 BBS 评分均得到显著提升,其中 0°~30°组和 31°~60°组患者治疗后 BBS 评分高于 61°~90°组。研究还发现,等速肌力训练角度为 0°~30°时,治疗后膝关节 ROM 与 AAR 30°呈相关性;等速肌力训练角度为 31°~60°时,治疗后膝关节 ROM 与 TDPM 30°、TDPM 45°、AAR 45°及 AAR 60°呈相关性,分析其原因可能是由于膝关节的活动受限会减少肌肉、肌腱和关节的感知刺激,同时本体感觉降低也会进一步限制膝关节的活动度,因为患者无法准确感知关节的位置和运动状态,从而难以进行有效的运动控制。

本研究尚存在一定的局限性,纳入的样本数据来自同一医疗中心,结果难免存在一定偏倚;研究对

象均为中国汉族,未涉及其他民族、国家的TKA术后等速肌力训练患者,后续研究还需进一步扩大样本量;本研究缺预后相关数据分析,分析结果的深度和广度将进一步提升,将在后续研究中加以改进。

综上所述,不同角度的股四头肌等速肌力训练,均有助于加速TKA术后患者的康复进程,其中训练范围为 $31^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 可以更好的改善患者术后本体感觉和股四头肌肌力, $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 范围内的股四头肌等速训练对患者小腿三头肌肌力、ROM、HSS评分改善效果最为显著。

参考文献:

- [1] Alrawashdeh W, Eschweiler J, Migliorini F, et al. Effectiveness of total knee arthroplasty rehabilitation programmes: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Rehabil Med*, 2021, 53(6): jrm00200.
- [2] Chen K, Dai X, Li L, et al. Patellar resurfacing versus nonresurfacing in total knee arthroplasty: an updated meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 83.
- [3] 刘文辉,李瑾,李楠,等.不同角度股四头肌等速肌力训练对骨科术后康复治疗疗效的影响研究[J].*中国医学装备*, 2018, 15(2): 78-81.
LIU Wenhui, LI Jin, LI Nan, et al. A research on the influence of isokinetic muscle strength training for quadriceps of different angles on the curative effect of post-operative rehabilitation treatment of orthopedic surgery [J]. *China Medical Equipment*, 2018, 15(2): 78-81.
- [4] 杨曼,刘强,熊小云,等.康复治疗联合等速肌力训练对全膝关节置换术后患者膝关节功能的影响[J].*新乡医学院学报*, 2023, 40(3): 230-233.
YANG Man, LIU Qiang, XIONG Xiaoyun, et al. Effect of rehabilitation therapy combined with isokinetic muscle strength training on knee joint function of patients after total knee arthroplasty [J]. *Journal of Xinxiang Medical University*, 2023, 40(3): 230-233.
- [5] 陈志豪,李乾,胡刚峰,等.等速肌力运动在关节置换中的应用[J].*中华关节外科杂志(电子版)*, 2021, 15(2): 219-224.
CHEN Zhihao, LI Qian, HU Gangfeng, et al. Application of isokinetic muscle exercise in joint replacement [J]. *Chinese Journal of Joint Surgery (Electronic Edition)*, 2021, 15(2): 219-224.
- [6] 殷娜,汤锋武,符锋,等.低强度脉冲聚焦超声联合等速肌力训练对膝关节炎患者膝关节本体感觉、生活质量和炎症因子水平的影响[J].*现代生物医学进展*, 2021, 21(22): 4275-4278.
YIN Na, TANG Fengwu, FU Feng, et al. Effects of low-intensity pulse focused ultrasound combined with isokinetic muscle strength training on proprioception, quality of life and inflammatory factors of knee joint in patients with knee osteoarthritis [J]. *Advances in Modern Biomedicine*, 2019, 21(22): 4275-4278.
- [7] Qiao YJ, Li F, Zhang LD, et al. Analysis of the clinical efficacy of two-stage revision surgery in the treatment of periprosthetic joint infection in the knee: a retrospective study [J]. *World J Clin Cases*, 2022, 10(36): 13239-13249.
- [8] Shafshak TS, Elnemr R. The visual analogue scale versus numerical rating scale in measuring pain severity and predicting disability in low back pain [J]. *J Clin Rheumatol*, 2021, 27(7): 282-285.
- [9] Li F, Wei C, Huo S, et al. Predictors of deep-vein thrombosis for acute stroke at admission to a rehabilitation unit: a retrospective study [J]. *Front Neurol*, 2023, 14: 1137485. doi:10.3389/fneur.2023.1137485
- [10] Barrett DS. Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1991, 73(5): 833-838.
- [11] Roberts D, Ageberg E, Andersson G, et al. Effects of short-term cycling on knee joint proprioception in ACL-deficient patients [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2004, 12(5): 357-363.
- [12] 韩雪,刘云,包倪荣,等.改良式居家康复方案对膝关节置换术后患者干预效果的研究[J].*东南国防医药*, 2020, 22(3): 303-306.
HAN Xue, LIU Yun, BAO Nirong, et al. Study on the intervention effect of improved home rehabilitation program on patients after knee replacement [J]. *Military Medical Journal of Southeast China*, 2020, 22(3): 303-306.
- [13] 潘韩丽,陈媛媛,何静,等.全膝置换术后早期功能锻炼应用健康教育互动模式[J].*中华关节外科杂志(电子版)*, 2020, 14(4): 508-511.
PAN Hanli, CHEN Yuanyuan, HE Jing, et al. Application of interactive model of health education in early functional training after total knee arthroplasty [J]. *Chinese Journal of Joint Surgery (Electronic Edition)*, 2020, 14(4): 508-511.
- [14] 苑晶,闫丹丹.早期临床康复护理路径对膝关节置换术患者自我效能及康复效果的影响[J].*长春中医药大学学报*, 2021, 37(5): 1150-1153.
YUAN Jing, YAN Dandan. Effect of an early clinical rehabilitation nursing path on the self-efficacy and rehabilitation effect of patients undergoing the knee arthroplasty [J]. *Journal of Changchun University of Chinese Medicine*, 2021, 37(5): 1150-1153.
- [15] 周娟,朱俊美,梁俊妮.等速肌力训练对TKA患者术后下肢肌力恢复的影响[J].*东南国防医药*, 2022, 24(5): 540-542.
ZHOU Juan, ZHU Junmei, LIANG Junni. Effect of isokinetic muscle strength training on the recovery of lower limb muscle strength in TKA patients after operation [J]. *Military Medical Journal of Southeast China*, 2022, 24(5): 540-542.