北欧腘绳肌离心训练和本体感觉神经肌肉促进术对改善腘绳肌柔韧性的效果研究*

朱琪¹ 李柯蓉¹ 陈茉弦¹ 唐欣¹ 孟繁媛^{1,2}

腘绳肌损伤是足球运动中最常见的肌肉损伤之一,在一项对51支欧洲高水平足球队进行的流行病学研究发现,腘绳肌损伤占有所有肌肉损伤约37%,占有所有足球运动损伤的12%—16%^[1],腘绳肌损伤需要复杂的治疗和长期的康复^[2]。腘绳肌群位于大腿后侧,由半腱肌、半膜肌和股二头肌长头与短头组成,是髋关节伸展与膝关节屈曲的主要肌肉,在日常功能活动中发挥重要作用,而腘绳肌双关节肌的特异性被认为是由于两个关节相互作用增加负荷而导致受伤的危险因素之一^[3]。腘绳肌的最大伸展和力量发生在摆动相末期,通过腘绳肌离心收缩来限制膝关节的过度伸展并降低伸展的速度,同时从减速的肢体中吸收能量为脚触地做准备,其力量随着速度的增加而显著增加,此时容易导致损伤^[4]。在摆动相首先被激活的是股二头肌,而在摆动相末期半腱肌发挥主导作用,这可能使股二头肌比半腱肌、半膜肌更容易损伤。在射门等快速高踢腿的活动中发生髋关节屈曲同时快速伸展膝关节,腘绳肌被过度拉伸,此时最容易发生损伤的是半膜肌及其近端肌腱^[5]。在功能活动过程中,由于膝关节伸肌被动张力和代偿性激活的增加,腘绳肌柔韧性不足会导致膝关节承受更大的负荷,多项研究将腘绳肌长度不足与腘绳肌拉伤风险增加联系在一起^[6]。同时由于腘绳肌柔韧性降低使得骨盆后旋,导致脊柱代偿,还可能导致腰痛的发生^[7]。

腘绳肌紧张会增加运动员肌肉损伤的风险,最近的研究支持使用伸展运动来提高肌肉柔韧性,以防止受伤和提高运动表现^[8]。牵伸是一种广泛使用的提高柔韧性的技术,静止性牵伸长期以来是肌肉紧张的标准干预,因为它相对容易执行,不需要太多时间或精力,且受伤风险低,然而,静态拉伸的效果在文献^[9]中没有明确的支持,类型、频率、持续时间、强度和位置等变量会为最佳实践产生相互矛盾的证据,并使临床决策变得不确定。在几项研究中,本体感觉神经肌肉促进(proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF)技术已被证明可以与静态拉伸干预一样对增加腘绳肌长度有长期的效果^[9],PNF拉伸是基于激活高尔基肌腱感受器并在激动肌中引起自身抑制的生理反射机制^[10]。Mjolsnes等^[11]提出的Nor-

dic hamstring训练(下称NH)是一种腘绳肌伸膝离心收缩训练,主要训练到半腱肌和股二头肌短头^[12],已被证明是一种有效的腘绳肌损伤预防方法^[13],可以为腘绳肌提供良好的结构和力量适应,NH离心强化训练可有效提高离心力量、肌肉激活和跳跃高度表现,与常规腘绳肌训练相比,可产生更大的腘绳肌离心力量扭矩^[14]。有研究表明,NH训练对股二头肌长头肌束募集不足,难以预防高风险球员的腘绳肌拉伤,针对高风险球员,应设计能有效强化股二头长头的预防干预(髋关节主导的离心)^[12]。虽然NH离心训练与PNF牵伸训练作用的生理机制不同,但两种方式与静态拉伸相比都证明可有效地改善腘绳肌柔韧性^[10,15]。哪种方式对腘绳肌柔韧性效果更佳,目前还不清楚。因此,本研究通过使用膝关节主导联合髋关节主导的NH离心训练、PNF牵伸训练、NH离心联合PNF牵伸训练,探究腘绳肌柔韧性训练的最佳方式,预防运动损伤,提高运动表现。通过比较即时效果、持续效果和延迟效果,综合时间窗探究最佳训练方式,旨在为运动员长短期柔韧性训练提供临床数据支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2021年3—6月随机选取65名昆明医科大学的在校学生。该试验已通过昆明医科大学伦理委员会审查(KM-MU2021MEC093),所有受试者均签署知情同意书。纳入标准:①年龄18—23岁;②BMI在正常范围:18.5—25.0;③愿意接受本次实验并签署知情同意书。排除标准:①有规律拉伸习惯;②专业、业余运动员或舞蹈演员;③双下肢有严重外伤史;④双下肢有手术史;⑤有基础疾病;⑥训练前屈髋90°直腿抬高测试时膝关节屈曲角度为0°;⑦腘绳肌有受伤史;⑧做屈髋90°直腿抬高测试时有疼痛者。基于以上标准,本实验纳入65名受试者,随机数字表法分为三组,中途因个人原因退出5名,其中3名来自NH离心训练组,2名来自联合训练组。参与全程实验人数为60名,男生19名,女生41名。3组一般资料、训练前直腿抬高测试膝关节屈曲角度均无显著性差异($P > 0.05$),见表1。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.01.021

*基金项目:国家级大学生创新训练计划项目(202010678072);云南省科技厅-昆明医科大学应用基础研究联合专项(202201AY070001-014)

1 昆明医科大学康复学院,云南省昆明市,650500; 2 通讯作者

第一作者简介:朱琪,女,硕士研究生,初级康复治疗师; 收稿日期:2022-03-08

表1 研究对象一般资料比较

组别	例数	性别[n(%)]		年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	身高 ($\bar{x}\pm s$, cm)	体重 ($\bar{x}\pm s$, kg)	BMI ($\bar{x}\pm s$)	运动情况[n(%)]		训练前角度测试 ($\bar{x}\pm s$, °)
		女	男					无	有	
NH离心训练组	20	15(75.0)	5(25.0)	20.5±0.83	163.73±6.94	54.31±5.58	20.23±1.29	10(50.0)	10(50.0)	16.75±5.39
PNF牵伸组	20	12(60.0)	8(40.0)	20.8±1.11	167.15±6.48	58.43±7.27	20.84±1.4	7(35.0)	13(65.0)	23.03±9.74
NH离心联合PNF牵伸组	20	13(65.0)	7(35.0)	20.1±1.33	163.7±6.42	54.8±7.35	20.36±1.54	6(30.0)	14(70.0)	14.90±9.14
F值/ χ^2 值		1.050		2.009	1.799	2.202	1.018	1.833		2.114
P值		0.592		0.144	0.175	0.120	0.368	0.400		0.159

1.2 训练方法

三组采取不同的训练方式训练4周。第一组:腓绳肌NH离心训练组,包括了屈髋离心训练和伸膝离心训练。每组10次(包括屈髋离心5次,伸膝离心5次),组间休息10—20s,共训练4组,每周4次,共计4周^[12]。第二组:腓绳肌PNF牵伸训练组,每组左右腿各1次,每组每条腿内外旋PNF牵伸各30s,组间休息10—20s,牵伸训练4组,每周4次,共计4周^[16]。第三组:腓绳肌NH离心联合PNF牵伸训练组,离心收缩训练每组10次(屈髋离心5次,伸膝离心5次),组间休息10—20s,训练2组,随后PNF牵伸训练2组,每组左右腿各1次,每次每条腿内外旋各30s,组间休息10—20s。每周训练4次,共计4周。

腓绳肌屈髋离心自重式训练方法:受试者跪位,由治疗师帮助按压小腿。受试者利用腓绳肌离心肌力对抗重力,尽可能慢地下降身体并屈髋,膝关节保持屈曲,当不能维持该姿势时,双手支撑呈俯卧位。之后双手快速推离地面,并配合伸髋,以尽快回到准备体位如此反复。

腓绳肌伸膝离心自重式训练方法:受试者跪位,由治疗师帮助按压小腿,受试者利用腓绳肌离心肌力对抗重力,尽可能慢地下降身体并伸膝,头-髌保持直线,髌关节保持伸直,当不能维持该姿势时,双手支撑呈俯卧位,之后双手快速推离地面,并配合屈膝,以尽快回到准备体位如此反复。

腓绳肌PNF牵伸方法:利用PNF牵伸方法中拮抗肌主动收缩-放松的训练方式。受试者处于站立位,抬高一侧下肢并内旋位,随后主动伸膝和前屈髋关节,将腓绳肌主动拉伸至有轻度不适感处,随后拮抗肌股四头肌等张收缩主动伸膝30s后放松,随后下肢外旋位再进行一次同样的PNF牵伸训练。

1.3 评估标准

三组受试者在训练前、第1次训练后、训练4周后、停训2周后均用屈髋90°主动伸膝关节活动度测试(active knee extension test, AKE),即用关节量角器测量屈髋90°主动直腿测试时膝关节屈曲角度并记录。AKE测试是评估腓绳肌柔韧性的金标准,该评估的测试者内部信度为0.99。AKE测试操作如下:受试者仰卧位,双下肢髌关节屈曲90°,并尽力伸直膝关节,此时测试员用量角器测量双侧膝关节屈曲角度,每侧肢体测试3次,取平均值。

1.4 统计学分析

采用SPSS 22.0软件进行数据统计分析。组内比较采用配对t检验,即时效果和训练4周后效果的组间比较采用单因素设计资料的方差分析,持续效果的组间比较采用重复测量资料的方差分析,组间两两比较采用LSD检验。

2 结果

2.1 即时效果

1次训练后,NH离心,NH联合PNF训练组训练后膝关节屈曲角度较训练前明显变小($P < 0.05$),PNF组训练前后无显著性差异($P > 0.05$)。NH组、NH联合PNF组屈曲角度改善的即时效果优于PNF组($P < 0.017$),但NH组和NH联合PNF组的即时效果其组间无显著性差异。见表2。

2.2 训练4周后效果

训练4周后,3组膝关节屈曲角度较训练前均明显减小($P < 0.05$)。NH组、NH联合PNF组屈曲角度改善优于PNF组($P < 0.017$),NH组和NH联合PNF组组间无显著性差异($P > 0.05$)。见表2。

2.3 延迟效果

停训2周后,3组膝关节屈曲角度较训练前均明显减小($P < 0.05$)。NH组、NH联合PNF组屈曲角度变小的持续效果优于PNF组($P < 0.017$),NH组和NH联合PNF组组间无显著性差异($P > 0.05$)。见表2。

3 讨论

本实验的研究目的是探究NH离心训练和PNF牵伸对改善腓绳肌柔韧性的即时、长久、延迟效果。本实验采用的三种训练方法长期均能改善腓绳肌柔韧性。Leanna等^[16]采用PNF收缩-放松法,腓绳肌处于舒适的拉长位置,进行等长

表2 3组间组内不同时段及组间90°直腿抬高测试效果的比较 ($\bar{x}\pm s$, °)

组别	例数	训练前	1次训练后	4周训练后	停训2周
NH组	20	16.75±5.39	16.00±5.41 ^{①②}	8.60±6.64 ^{①②}	8.09±7.12 ^{①②}
PNF组	20	23.03±9.74	22.23±8.27	15.09±7.82 ^①	13.68±7.73 ^①
NH+PNF组	20	14.90±9.14	13.30±7.93 ^{①②}	8.37±7.68 ^{①②}	8.34±7.05 ^{①②}
F值		2.114	7.838	5.319	3.742
P值		0.159	0.001	0.008	0.030

注:与同组训练前比较^① $P < 0.05$,^②与PNF组相同时间点比较 $P < 0.017$

收缩10s然后休息,达到新活动范围后以100%的强度被动牵伸受试者的腿30s,PNF牵伸干预使得髌关节屈曲范围比静态拉伸更大,证明了PNF技术相对于静态拉伸对腘绳肌柔韧性的有效性更佳,因此我们采用了PNF拮抗肌主动收缩法,拉伸时间为30s的训练方案。Mani^[17]团队对久坐患有腘绳肌缩短的男性进行研究也发现PNF牵伸技术比静态拉伸改善运动效果更佳。PNF技术不仅可以激活本体感受器,如肌梭和高尔基体肌腱器官,还能激活主动肌和拮抗肌内的感觉受体,增加其敏感性^[18]。NH训练方案的制定是基于国际足联医学研究中心热身练习中的单一NH训练方案:1—3组/周,10—30重复次数/组^[12]。过去的研究发现NH离心训练能够很好促进肌肉生长,干预后肌肉体积增加,而不是肌束长度增加,NH训练降低腘绳肌损伤风险的机制可能是它能够增加肌肉大小^[19]。在本研究中,NH训练有效改善了腘绳肌的柔韧性,NH训练降低腘绳肌的运动损伤风险也可能与腘绳肌肌肉体积增加有关。

NH离心训练能够诱发腘绳肌肥大,膝主导的伸膝离心优先激活半腱肌和股二头肌短头的募集^[20],单关节肌股二头肌短头在屈膝时中发挥作用。半腱肌止于胫骨内髁下的胫骨面,而半膜肌止于胫骨内髁,股二头肌长头止于腓骨小头,在伸膝离心动作中相较股二头肌长头与半膜肌,半腱肌在矢状面具有更长力臂,力学效率最高,具有力学优势^[15]。腘绳肌形态结构与生物力学分析表明,在髌关节主导的屈髌离心动作中,股二头肌长头和半膜肌更具力学优势,是主要被训练到的肌肉^[21]。而股二头的长头的应变率最大,比安静状态高10%—13%,为最易发生损伤的肌肉^[22]。因此,本实验采用改良版NH跪姿前倾离心训练,包括了膝主导和髌关节主导的离心训练。我们采用改良版NH跪姿前倾离心训练,髌关节屈曲角度呈动态变化,可能是腘绳肌长度增加的干预因素之一。

本研究结果提示NH离心组与NH联合PNF训练组间训练效果差异不明显。虽然NH训练已被证明可以降低腘绳肌损伤风险和发生率,足球运动中腘绳肌的发生率很高,但职业足球队的NH训练干预的依从性很低,可能的原因是推荐干预措施中规定的高剂量^[23]。对于没有运动习惯的人群,NH离心训练的强度较大,可能导致训练者耐力不足。因此,在临床中选择NH联合PNF训练可能在达到相同训练目的的同时,又能降低NH离心训练难度,增加训练者依从性。

本研究结果与之前的PNF牵伸研究一致,PNF牵伸技术对提高腘绳肌的即时效果不佳^[24]。我们观察到NH离心训练的即时、长久、延迟效果比PNF牵伸训练效果更佳,并且随着NH训练时间增加,腘绳肌柔韧性增加,停训两周后,改善效果依然存在。PNF牵伸技术也对改善腘绳肌柔韧性具有长久和延时效果,但不如NH训练效果好。

本研究中使用的AKE测试是一种用来衡量腘绳肌柔韧性的方法,该评估的测试者内部信度为0.99^[25]。许多测量腘绳肌长度的研究都采用主动或被动伸膝测试^[26],因此,本研究采用主动伸膝测试,但仍有不足。未来可加入坐位体前屈、功能性活动评估等来全面评估不同训练方法对于改善腘绳肌柔韧性的有效性。同时训练前后评估肌肉疲劳程度,探究不同训练方法的耗能情况,探寻最佳训练方式,有助于在临床和体育领域为腘绳肌制定有效的治疗和康复策略。

参考文献

- [1] Biz C, Nicoletti P, Baldin G, et al. Hamstring strain injury (HSI) prevention in professional and semi-professional football teams: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(16):8272.
- [2] Raya-González J, Suárez-Arrones L, Navandar A, et al. Injury profile of elite male young soccer players in a Spanish professional soccer club: A Prospective study during 4 consecutive seasons[J]. *J Sport Rehabil*, 2019, 29(6):801—807.
- [3] Chumanov ES, Heiderscheid BC, Thelen DG, et al. The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting[J]. *J Biomech*, 2007, 40(16):3555—3562.
- [4] Schuermans J, Van Tiggelen D, Danneels L, et al. Biceps femoris and semitendinosus: teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study[J]. *Br J Sports Med*, 2014, 48(22):1599—1606.
- [5] Williams DS, Welch LM. Male and female runners demonstrate different sagittal plane mechanics as a function of static hamstring flexibility[J]. *Braz J Phys Ther*, 2015, 19(5):421—428.
- [6] Bade M, Baertlein S, Bouten T, et al. A comparison of lower extremity alignment risk factors between competitive and recreational runners[J]. *Orthopaedic Phys Ther Pract*, 2016, 28(2):100—108.
- [7] Manzi V, Iellamo F, Alashram AR, et al. Effects of three different stretching protocols on hamstring muscle flexibility in professional soccer players: a randomized study[J]. *Sports Med Phys Fitness*, 2020, 60(7):999—1004.
- [8] Cipriani DJ, Terry ME, Haines MA, et al. Effect of stretch frequency and sex on the rate of gain and rate of loss in muscle flexibility during a hamstring-stretching program: a randomized single-blind longitudinal study[J]. *Strength Cond Res*, 2012, 26(8):2119—2129.
- [9] Sundaram MS, Arun B. Comparing the effects of various PNF stretching in improving the hamstrings flexibility in athletes[J]. *Indian J Physiother Occup Ther Int J*, 2016, 10(4):43.
- [10] Magalhães FEX, Junior ARDM, Meneses HTDS, et al. Comparison of the effects of hamstring stretching using Proprioceptive neuromuscular facilitation with prior application of cryotherapy or ultrasound therapy[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(5):1549—1553.
- [11] Mjolsnes R, Arnason A, Osthaugen T, et al. A 10-week

- randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players[J]. Scand J Med Sci Sports, 2004, 14(5):311—317
- [12] 谭恺,张春合,吕海龙,等.Nordic Hamstring 跪姿前倾离心训练的生理效应及其对腘绳肌拉伤的预防效果[J].中国运动医学杂志,2019,38(7):601—610.
- [13] van der Horst N, Smits DW, Petersen J, et al. The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: a randomized controlled trial[J]. Am J Sports Med,2015,43(6):1316—1323.
- [14] Delahunt E, McGroarty M, De Vito G, et al. Nordic hamstring exercise training alters knee joint kinematics and hamstring activation patterns in young men[J]. Eur J Appl Physiol,2016,116(4):663—672.
- [15] Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, et al. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength[J]. Eur J Appl Physiol,2017,117(5):943—953.
- [16] Gunn LJ, Stewart JC, Morgan B, et al. Instrument-assisted soft tissue mobilization and proprioceptive neuromuscular facilitation techniques improve hamstring flexibility better than static stretching alone: a randomized clinical trial [J]. J Man Manip Ther,2019,27(1):15—23.
- [17] Mani E, Kirmizigil B, Tüzün EH. Effects of two different stretching techniques on proprioception and hamstring flexibility: a pilot study[J]. Comp Eff Res, 2021, 10 (13) : 987—999.
- [18] Lim K, Nam H, Jung K. Effects on hamstring muscle extensibility, muscle activity, and balance on different stretching techniques[J]. Phys Ther Sci,2014,26(2): 209—213.
- [19] Seymore KD, Domire ZJ, DeVita P, et al. The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength[J]. Eur J Appl Physiol,2017,117(5):943—953.
- [20] Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, et al. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: implications for injury prevention[J]. Br J Sports Med, 2017,51(5):469—477.
- [21] Fernandez-Gonzalo R, Tesch PA, Linnehan RM, et al. Individual muscle use in hamstring exercises by soccer players assessed using functional MRI[J].Int J Sports Med, 2016,37(7):559—564.
- [22] Schache AG, Dorn TW, Blanch PD, et al. Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting[J]. Med Sci Sports Exerc,2012,44(4):647—658.
- [23] Cuthbert M,Ripley N,McMahon JJ,et al. The effect of Nordic hamstring exercise intervention volume on eccentric strength and muscle architecture adaptations: A systematic review and meta-analyses[J]. Sports Med,2020,50(1):83—99.
- [24] 叶家驰. PNF 三种牵拉技术对腘绳肌柔韧性的即刻影响[C]. 2015 第十届全国体育科学大会论文摘要汇编(三). 杭州, 2015:321—322.
- [25] Davis DS, Quinn RO, Whiteman CT, et al. Concurrent validity of four clinical tests used to measure hamstring flexibility[J]. J Strength Cond Res, 2008,22(2):583—588.
- [26] Lempke L,Wilkinson R,Murray C,et al. The effectiveness of PNF versus static stretching on increasing hip-flexion range of motion[J]. J Sport Rehabil,2018,27(3):289—294.

(上接第 112 页)

- Phys Ther Sci,2013,25(3):317—320.
- [22] Liu YC, Yang YR, Tsai YA, et al. Cognitive and motor dual task gait training improve dual task gait performance after stroke: a randomized controlled pilot trial[J]. Sci Rep, 2017,7(1):4070.
- [23] Kim GY, Han MR, Lee HG. Effect of dual-task rehabilitative training on cognitive and motor function of stroke patients[J]. J Phys Ther Sci,2014,26(1):1—6.
- [24] Fishbein P, Hutzler Y, Ratmansky M, et al. A preliminary study of dual-task training using virtual reality: influence on walking and balance in chronic poststroke survivors [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis,2019,28(11):104343.
- [25] Yen CL, Wang RY, Liao KK, et al. Gait training induced change in corticomotor excitability in patients with chronic stroke[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2008, 22(1): 22—30.
- [26] Eng JJ, Tang PF. Gait training strategies to optimize walking ability in people with stroke: a synthesis of the evidence[J]. Expert Rev Neurother,2007,7(10):1417—1436.
- [27] 李威,曾祥斌,章荣,等.核心稳定性训练对脑卒中偏瘫患者步态时空参数和对称性参数的影响[J].中国康复医学杂志, 2014,29(9):816—822.
- [28] 黄彩平,谢欲晓,王思远,等.步行-执行功能双任务训练对慢性脑卒中患者康复的研究进展[J].中国康复医学杂志,2018, 33(8):988—992.
- [29] Wang XQ, Pi YL, Chen BL, et al. Cognitive motor interference for gait and balance in stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Neurol,2015,22(3):555—e37.
- [30] 张慧鑫,陈健新,张瑞丽,等.双重任务与单一任务训练对老年人步态和平衡改善效果的 Meta 分析[J].中华护理杂志,2019, 54(9):1400—1405.
- [31] Lacour M, Bernard-Demanze L, Dumitrescu M. Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods[J]. Neurophysiol Clin, 2008, 38(6): 411—421.
- [32] 杨志,付雨桐,姚黎清.脑卒中患者双重任务能力恢复的神经机制研究进展[J].世界最新医学信息文摘,2020,20(41):40—41+44.
- [33] Sullivan JE, Hedman LD. Sensory dysfunction following stroke: incidence, significance, examination, and intervention[J]. Top Stroke Rehabil,2008,15(3):200—217.