不同拉伸对下肢爆发力的急性影响

花鹏雅[1]，章碧玉[2]

（1. 东莞理工学院，广东 东莞　523808；2. 北京体育大学，北京　100084）

摘　要：目的：探究动态拉伸、PNF 拉伸、PNF＋动态组合拉伸对下肢爆发力的急性影响，为运动员在赛前准备活动中选择合理的拉伸方式提供科学依据。方法：选取具有 2 年以上力量训练经验的 17 名男性受试者，采用被试内设计，在不同的 4 天内安排 4 次分别包含无拉伸、动态拉伸、PNF 拉伸和组合拉伸的实验任务。实验流程为受试者慢跑 5 分钟后进行拉伸干预，结束即刻通过测力台进行 CMJ 测试获取纵跳高度和起跳功率数据以评价下肢爆发力，通过无线表面肌电测试仪同步记录 CMJ 过程中下肢肌肉的表面肌电信号，并通过测量不同肌群的最大肌力，结合 CMJ 指标进一步了解不同拉伸对爆发力的影响特点。采用单因素重复测量方差分析处理上述数据。结果：3 种拉伸后即刻 CMJ 指标无明显变化；动态拉伸后即刻股外侧肌、腓肠肌内侧头和腓肠肌外侧头 IEMG 显著下降，股内侧肌 IEMG 显著上升；PNF 拉伸后即刻股内侧肌、股外侧肌 IEMG 显著上升，股二头肌、腓肠肌外侧头 IEMG 显著下降；组合拉伸后即刻腓肠肌外侧头 IEMG 显著下降，股内侧肌 IEMG 显著上升。其余肌电活动均无显著变化。结论：适当拉伸可对下肢神经肌肉功能产生有利影响，具有提高下肢爆发力的潜在可能性，适合在爆发力类运动前进行练习。

关键词：组合拉伸；PNF 拉伸；动态拉伸；爆发力；肌电；准备活动

中图分类号：G804.6　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1008-3596（2022）05-0082-08

在训练或赛前进行准备活动可以预先动员机体的机能状态，促进运动表现[1]。拉伸练习是准备活动的常规内容，被认为具有提高关节活动范围、预防运动损伤等作用，且一般可分为静态拉伸、动态拉伸和 PNF 拉伸（proprioceptive neuro-muscular facilitation stretch）[2-3]。爆发力是体能素质的重要组成部分，尤其对体能主导类快速力量性和速度性项目运动员的竞技能力起着决定性的影响[4]。研究证实，静态拉伸对爆发力有即时的负面影响，动态拉伸可即时提高爆发力水平，但有关 PNF 拉伸对爆发力影响的研究有限，爆发力类运动前是否适合进行 PNF 拉伸尚无定论[5]。但有研究认为，PNF 牵拉过程中，肌肉主动收缩对抗牵拉，有利于提高肌肉与神经系统的联系，使神经能够募集更多运动单位参与肌肉收缩[6]。因此，PNF 拉伸可能具备提高爆发力的生理特点，爆发力类运动前或许可以进行 PNF 拉伸。

结合前人的研究成果，本研究提出假设：首先，PNF 拉伸可对爆发力产生有利的急性影响，爆发力类运动前可以进行 PNF 拉伸；其次，若 PNF 拉伸对爆发力产生负面的急性影响，那么结合动态拉伸进行组合练习也可抵消乃至逆转其负面影响。为了验证假设，本研究采用测力台和肌电仪同步测量的方法，探究受试者分别进行动态拉伸、PNF 拉伸以及 PNF＋动态组合拉伸后的反向纵跳能力（CMJ）以及跳跃过程中下肢不同肌肉的肌电活动状况，了

收稿日期：2022-03-11

作者简介：花鹏雅（1990—），男，广东湛江人，助教，硕士，研究方向为运动训练理论与实践。

文本信息：花鹏雅，章碧玉. 不同拉伸对下肢爆发力的急性影响[J]. 河北体育学院学报，2022，36（5）：82-89.

解不同拉伸对下肢爆发力的急性影响特点，为运动员在赛前准备活动中选择合理的拉伸方式提供科学依据。

1　研究对象与方法

1.1　受试者

以动态拉伸、PNF 拉伸及 PNF＋动态组合拉伸对下肢爆发力的急性影响为研究对象，选取北京体育大学体育术科专业的 17 名男性大学生作为受试者。所有受试者均具备 2 年以上的力量训练经验，运动等级达二级或三级，半年内无下肢损伤且参与实验期间身体健康，实验当天测试前未从事剧烈运动。

1.2　实验指标及测试设备

CMJ 指标：选取纵跳高度（纵跳时双脚最大离地高度）和起跳功率（单位时间内下肢肌肉的最大做功能力）作为 CMJ 能力的评价指标[7]，并采用 Kistler 三维测力台获取相应数据。

肌电指标：采用 Delsys 无线表面肌电测试仪连接测力台，在 CMJ 测试过程中同步记录受试者优势腿的股直肌、股内侧肌、股外侧肌、股二头肌、腓肠肌内侧头、腓肠肌外侧头和臀大肌的表面肌电信号，采集频率 2 000 Hz；采用 David 最大肌力（MVC）测试仪，让受试者发挥伸膝、伸髋、屈膝和屈踝的最大力量并记录上述相应肌肉的表面肌电信号以便实验后期进行 IEMG 标准化处理。

1.3　实验设计

采用被试内设计，即每名受试者都需要在不同的 4 天完成全部 4 次分别包含无拉伸、动态拉伸、PNF 拉伸以及 PNF＋动态组合拉伸的实验任务，每次任务内容均包括：准备活动（5 分钟慢跑＋1 种拉伸干预）→即刻 CMJ 测试→MVC 测试。为避免顺序效应，将每名受试者的拉伸干预方式顺序随机安排。

对实验无关变量的控制：每次测试均安排在下午 2：00—5：00 之间进行，测试点室内温度 26℃维持恒定，同一受试者两次测试之间至少间隔 24 小时，所有受试者提前充分了解并按照相同的程序接受实验干预及测试。实验流程如下。

第 1 步：实验前先连接好三维测力台和无线表面肌电仪的线路，包括用同步线将两个设备连接，然后打开电脑相应的测试软件，调试设备、设置相关参数。

第 2 步：让受试者了解实验过程与要求，为其讲解示范 CMJ 动作要领并试跳几次。CMJ 动作要领：受试者垂直站立于三维测力台中间并两手叉腰，听到开始的指令后，迅速下蹲（膝关节角度为 90°）并尽最大力量快速垂直起跳。着地时双脚全脚掌要全部落在测力台内，并且过程中受试者双手都要保持叉腰动作状态。

第 3 步：用 75％浓度的医用酒精为受试者反复擦拭表面电极片贴放点及附近皮肤，去除皮肤表面的坏死角质层、油污和汗液。若电极片贴放点及附近皮肤的体毛较多，则在擦拭酒精前先刮剃干净。

第 4 步：为受试者优势腿的股直肌、股内侧肌、股外侧肌、股二头肌、腓肠肌内侧头、腓肠肌外侧头和臀大肌共 7 块肌肉贴放表面电极片并用肌肉贴进行固定，表面电极片的贴放位置是所测肌肉的肌腹隆起最高处。

第 5 步：受试者先在跑步机上慢跑 5 分钟（跑速控制在 200—250 m/min），然后在热身指导员的带领下进行拉伸练习，结束后设备操作员及协助人员将受试者下肢的 7 个无线表面电极装置开关启动。

第 6 步：设备操作员控制测力台归零并启动无线表面肌电软件测量程序，向受试者下达“上测力台”的口令后，受试者站上测力台中间并完成 CMJ 动作，1 分钟内完成 2 次 CMJ 动作取最好成绩，受试者准备活动结束到完成 CMJ 测试的时间控制在 2 分钟以内。采样结束后设备操作员对测力台和无线表面肌电数据进行存盘。

第 7 步：受试者在 MVC 测试仪先后进行伸膝、伸髋、屈膝、屈踝动作的 MVC 测试，每个动作测 2 次且间歇 3 分钟，每次持续 5 秒，取最好成绩并保存相应肌肉的无线表面肌电信号，至此完成 1 名受试者的 1 次实验任务。

1.4　拉伸方案

本实验中所有拉伸均采用次最大强度，即在不引起疼痛感的前提下拉伸至最大幅度[3]。不同部位的拉伸顺序为：股二头肌→股四头肌→臀大肌→小腿三头肌。

动态拉伸时每个肌群拉伸 2 组、每组 6 次，双腿交替进行[8-9]（表 1[10]）；PNF 拉伸采用“保持—放松”的拉伸类型，即先使受试者完成 1 个 10 秒的被动拉伸，然后完成 1 个 8 秒的对

抗拉伸（等长收缩），最后进行1个加大拉伸幅度的20秒被动拉伸。每个肌群PNF拉伸1次，双腿交替进行（表2[6]）；PNF＋动态组合拉伸则参照PNF拉伸和动态拉伸方案进行。

表1 动态拉伸方案

拉伸部位	拉伸动作描述
股二头肌	行进间正踢腿。身体自然站立并抬头挺胸，双手自然端起维持身体平衡，左腿向前直踢，使大腿后群肌受牵拉，然后顺势落地，换右腿踢起。踢腿过程中躯干尽可能保持正直，收腹挺胸。
股四头肌	股四头肌行进间拉伸。身体自然站立，抬头挺胸。左腿屈膝并向后摆，左手握住脚向后上方拉起使左腿前群肌受牵拉，同时右脚跟提起。最大幅度动作保持约2秒。
臀大肌	抱膝触胸走。自然站立，抬头挺胸。左腿屈膝并向上抬起，双手抱住膝部向上拉至胸前使臀大肌受牵拉，同时右脚跟提起。最大幅度动作保持约2秒。
小腿三头肌	垫脚前压。身体自然站立，抬头挺胸。双手扶住器械维持身体平衡。左脚前脚掌垫在板上，后脚跟不离地，身体往前压使小腿三头肌受牵拉。最大幅度动作保持约2秒。

表2 PNF拉伸方案

拉伸部位	拉伸动作描述
股二头肌	被试仰卧，抬右腿，膝伸直，主试左手扶其膝关节、右手握踝。先使被试大腿后群肌持续10秒被动拉伸，然后被试屈膝发力对抗使后群肌持续8秒等长收缩，最后放松并进行大腿后群肌的20秒最大幅度被动拉伸。
股四头肌	被试俯卧，主试蹲左侧，左手扶其大腿中部、右手握踝，先使被试前群肌持续10秒被动拉伸且保持大腿不离垫，然后被试伸膝发力对抗使前群肌持续8秒等长收缩，最后放松并进行前群肌的20秒最大幅度被动拉伸。
臀大肌	被试仰卧，头背臀紧贴垫面，双手自然放于身体两侧。伸直右腿，左腿弯曲并向上交叉跨过右腿。主试用左小腿卡住被试右腿，左手握其右小腿，右手扶住其膝盖。先使被试臀大肌持续10秒被动拉伸，然后被试伸髋发力对抗使臀大肌持续8秒等长收缩，最后放松并进行臀大肌的20秒最大幅度被动拉伸。
小腿三头肌	被试仰卧，主试蹲左侧，左手压住其小腿中部、右手握前脚掌。先使被试小腿三头肌持续10秒被动拉伸，然后被试屈踝发力对抗使小腿三头肌持续8秒等长收缩，最后放松并进行小腿三头肌的20秒最大幅度被动拉伸。

1.5 数据处理与分析

采用Kistler三维测力台分析软件导出地面反作用力，并计算纵跳高度、起跳功率。计算公式：$P_t=F_t \cdot V_t$（P_t代表起跳功率，F_t代表纵跳力，V_t代表纵跳速度），$H=V_C{}^2/2g$（H代表纵跳高度，V_C代表纵跳速度）[7]。

采用EMGworks Acquisition软件对肌电的原始信号做10—800 Hz的带通滤波处理，之后全波整流再进行20 Hz的低通滤波处理，获得线型包络线，并积分肌电值。选取3秒钟MVC数据进行处理。将各块肌肉的CMJ积分肌电值除以对应肌肉的MVC积分肌电值以标准化。

采用SPSS 23.0软件对纵跳高度、起跳功率和IEMG数据进行单因素重复测量方差分析，方差分析之前先对相关数据进行Mauchly's球形度检验，若数据不符合球形假设，则使用greenhouse-geisser法校正数据。应用LSD法对数据指标进行后继检验。采用平均数±标准差对上述数据进行描述性统计，$P<0.05$表明有统计学意义。

2 实验结果

2.1 CMJ结果

表3 纵跳高度数据描述性统计（$n=17$） cm

拉伸方式	纵跳高度	95%置信区间	
		下限	上限
无拉伸	41.24±5.31	33.51	53.04
动态拉伸	43.72±6.08	32.87	53.20
组合拉伸	43.00±6.53	32.36	57.65
PNF拉伸	42.27±6.54	31.99	55.48

表4 起跳功率数据描述性统计（$n=17$） W

拉伸方式	起跳高度	95%置信区间	
		下限	上限
无拉伸	63.67±7.76	47.30	81.01
动态拉伸	64.26±7.75	54.02	81.18
组合拉伸	63.31±6.42	50.14	75.93
PNF拉伸	63.97±6.68	21.23	83.54

不同拉伸后即刻纵跳高度的均值大小排序为动态拉伸＞组合拉伸＞PNF 拉伸＞无拉伸，但总体差异无统计学意义（$F=1.32$，$P>0.05$，偏 $\eta^2=0.076$）；不同拉伸后即刻起跳功率的均值大小排序为动态拉伸＞PNF 拉伸＞无拉伸＞组合拉伸，但总体差异无统计学意义（$F=0.13$，$P>0.05$，偏 $\eta^2=0.008$）。

2.2　肌电结果

表 5　标准化 IEMG 数据描述性统计（$n=17$）

肌肉名称	拉伸方式	标准化 IEMG	95%置信区间	
			下限	上限
股直肌	无拉伸	2.22±0.64	1.16	3.99
	动态拉伸	1.85±1.14	0.72	4.85
	组合拉伸	1.51±0.59	0.88	3.29
	PNF 拉伸	1.69±0.67	0.20	3.11
股内侧肌	无拉伸^{2,4}	1.22±0.21	0.79	3.48
	动态拉伸^{1,3,4}	1.74±1.57	0.79	1.72
	组合拉伸^{1,2,4}	1.77±0.83	0.30	3.83
	PNF 拉伸^{1,2,3}	3.89±3.20	0.21	12.01
股外侧肌	无拉伸^{2,4}	1.31±0.27	0.75	1.76
	动态拉伸^{1,4}	1.05±0.25	0.65	1.50
	组合拉伸^{4}	1.15±0.66	0.11	2.52
	PNF 拉伸^{1,2,3}	1.63±0.51	0.73	2.43
股二头肌	无拉伸^{4}	0.57±0.24	0.19	1.21
	动态拉伸^{4}	0.49±0.28	0.14	1.19
	组合拉伸^{4}	0.47±0.33	0.60	1.22
	PNF 拉伸^{1,2,3}	0.19±0.07	0.30	0.32
腓肠肌内侧头	无拉伸^{2}	1.22±0.57	0.50	2.48
	动态拉伸^{1,4}	0.89±0.58	0.13	2.20
	组合拉伸^{4}	0.97±0.68	0.03	2.29
	PNF 拉伸^{2,3}	1.64±1.14	0.36	4.03
腓肠肌外侧头	无拉伸^{2,3,4}	2.17±0.84	0.59	4.13
	动态拉伸^{1,4}	0.78±0.30	0.15	1.27
	组合拉伸^{1,4}	0.94±0.25	0.36	1.31
	PNF 拉伸^{1,2,3}	1.47±0.58	0.43	2.75
臀大肌	无拉伸	0.86±0.37	0.17	1.60
	动态拉伸	0.76±0.36	0.16	1.39
	组合拉伸	0.83±0.31	0.29	1.56
	PNF 拉伸	0.79±0.51	0.10	1.99

注：角标数字 1/2/3/4 分别代表与无拉伸、动态拉伸、组合拉伸和 PNF 拉伸之间有显著差异，$P<0.05$

2.2.1　股四头肌 IEMG

不同拉伸后即刻股直肌 IEMG 均值大小排序为无拉伸＞动态拉伸＞PNF 拉伸＞组合拉伸，但总体差异无统计学意义（$F=2.75$，$P>0.05$，偏 $\eta^2=0.15$）。

不同拉伸后即刻股内侧肌 IEMG 均值大小排序为 PNF 拉伸＞组合拉伸＞动态拉伸＞无拉伸，且总体差异显著（$F=8.59$，$P<0.01$，偏 $\eta^2=0.35$）。相比无拉伸，其他 3 种拉伸后即刻股内侧肌 IEMG 均显著上升（$P<0.05$），且 PNF 拉伸后的 IEMG 上升幅度显著高于动态拉伸与组合拉伸（$P<0.05$）。

不同拉伸后即刻股外侧肌 IEMG 均值大小排序为 PNF 拉伸＞无拉伸＞组合拉伸＞动态拉伸，且总体差异显著（$F=6.68$，$P<0.01$，偏 $\eta^2=0.30$）。相比无拉伸，PNF 拉伸后即刻股外侧肌 IEMG 显著上升（$P<0.05$），动态拉伸后即刻股外侧肌 IEMG 显著下降（$P<0.01$），组合拉伸后即刻股外侧肌 IEMG 下降不明显（$P>0.05$）。

2.2.2　股二头肌 IEMG

不同拉伸后即刻股二头肌 IEMG 均值大小排序为无拉伸＞动态拉伸＞组合拉伸＞PNF 拉伸，且总体差异显著（$F=6.92$，$P<0.01$，偏 $\eta^2=0.30$）；相比无拉伸，动态拉伸和组合拉伸后即刻股二头肌 IEMG 均下降不明显（$P>0.05$），但 PNF 拉伸后即刻股二头肌 IEMG 显著下降（$P<0.05$）。

2.2.3　小腿三头肌 IEMG

不同拉伸后即刻腓肠肌内侧头 IEMG 均值大小排序为 PNF 拉伸＞无拉伸＞组合拉伸＞动态拉伸，且总体差异显著（$F=3.86$，$P<0.05$，偏 $\eta^2=0.20$）。相比无拉伸，动态拉伸后即刻腓肠肌内侧头 IEMG 显著下降（$P<0.05$），PNF 拉伸后即刻腓肠肌内侧头 IEMG 上升不明显（$P>0.05$），组合拉伸后即刻腓肠肌内侧头 IEMG 下降不明显（$P>0.05$）。

不同拉伸后即刻腓肠肌外侧头 IEMG 均值大小排序为无拉伸＞PNF 拉伸＞组合拉伸＞动态拉伸，且总体差异显著（$F=23.59$，$P<0.01$，偏 $\eta^2=0.60$）。相比无拉伸，其他拉伸后即刻腓肠肌外侧头 IEMG 均显著下降（$P<0.05$）。

2.2.4 臀大肌 IEMG

不同拉伸后即刻臀大肌 IEMG 均值大小排序为无拉伸＞组合拉伸＞PNF 拉伸＞动态拉伸，但总体差异无统计学意义（$F=1.16$，$P>0.05$，偏 $\eta^2=0.10$）。

表 6 不同拉伸对 CMJ 指标及下肢肌电活动的急性影响状况

拉伸方式	CMJ 过程中下肢不同肌肉的 IEMG 变化情况							CMJ 指标变化情况	
	股直肌	股内侧肌	股外侧肌	股二头肌	腓肠肌内侧头	腓肠肌外侧头	臀大肌	纵跳高度	起跳功率
PNF	—	↑	↑	↓	—	↓	—	—	—
动态	—	↑	↓	—	↓	↓	—	—	—
组合拉伸	—	↑	—	—	—	↓	—	—	—

注：“—”表示无显著变化，$P>0.05$；“↑”表示显著上升，$P<0.05$；“↓”表示显著下降，$P<0.05$

3 讨论

3.1 动态拉伸对 CMJ 指标和下肢不同肌肉 IEMG 值的急性影响

CMJ 结果显示，动态拉伸后即刻纵跳高度和起跳功率无显著变化，但均值略有增长。动态拉伸有利于提高爆发力表现已成为运动训练领域的共识，其影响机制被认为主要与体温因素有关。Fletcher[11-12]研究表明，动态拉伸可以明显提高骨骼肌与身体核心温度，并认为骨骼肌、核心温度和心率的提升会增强机体神经感受器的敏感度，从而改善骨骼肌的收缩能力、提高收缩速度及收缩力量。Bishop[13]认为，身体核心温度的增加有助于提高神经传导速度、肌肉顺应性以及酶循环功能，加速肌肉的能量供应。

分析肌电结果发现，动态拉伸可以显著改善中枢神经对下肢肌肉工作的协调控制能力。如表 6 所示，动态拉伸后即刻股外侧肌、腓肠肌内侧头和腓肠肌外侧头 IEMG 显著下降，而股直肌、股二头肌和臀大肌 IEMG 无显著变化，说明动态拉伸对下肢肌电活动的整体影响偏消极。换言之，在本研究中受试者下肢大部分肌肉的爆发力在动态拉伸后即刻是显著下降的，但受试者的反向纵跳能力却并未下降，甚至还有微弱的增长，因此必定存在能够抵消乃至逆转动态拉伸对肌电活动负面影响的生理机制。CMJ 过程中受试者的起跳力是由臀大肌、股后肌群、股四头肌、小腿三头肌等大量下肢肌群共同协调参与形成的合力，因此下肢爆发力受到下肢不同肌群收缩活动的协调配合程度的重要影响[1,14]。综上认为，虽然动态拉伸后即刻大部分下肢肌肉爆发力显著下降，但同时中枢神经对下肢不同肌群收缩活动的协调控制能力得到了显著的改善，从而有效地抵消了下肢大部分肌肉爆发力下降的负面影响，使 CMJ 过程中的下肢爆发力表现有所提高。

综上所述，动态拉伸能够显著改善中枢神经对肌肉工作的协调控制能力，进而对下肢爆发力产生有利的急性影响。

3.2 PNF 拉伸对 CMJ 指标和下肢不同肌肉 IEMG 值的急性影响

CMJ 结果显示，PNF 拉伸后即刻纵跳高度和起跳功率无显著变化，但均值略有增长，表明其对下肢爆发力表现有益。郝红红[15]认为，在 PNF 拉伸过程的最后阶段，加大幅度的被动拉伸使得肌肉得到充分的牵伸，不仅能显著改善下肢柔韧素质，还使相应肌梭引发强烈的神经冲动并传入中枢神经，促使更多的运动单位得到募集，有助于提高爆发力。McCarty[6]指出，PNF 牵拉过程中，肌肉主动收缩对抗牵伸，有利于提高肌肉与神经系统的联系，使神经中枢能够募集更多运动单位参与肌肉收缩。由此认为，PNF 拉伸过程的特点有利于提高神经募集运动单位的能力，进而提高爆发力。另外，Rees 等人[16]的研究报道，PNF 拉伸后受试者踝关节活动度提高 7.8%，最大等长收缩力量提高 26%，爆发力提高 25%、肌腱刚度增加 8.4%。肌腱刚度的增加可以通过适应 PNF 拉伸过程中的最大等长肌肉收缩来解释，由于刚度更高的肌腱具备更强的存储和释放弹性势能的能力，因此 PNF 拉伸可以减少肌肉收缩时间或提高其机械效率。但目前并未发现更多的研究成果来支持“PNF 拉伸可以提高肌腱刚度”的说法，相反，许多研究认为拉伸会降低肌腱刚度[2,3,5]。因此可推测，PNF 拉伸对爆发力的改善主要通过提高神经募集运动单位的能力来实现。

也有研究表明 PNF 拉伸会显著降低爆发力，

这可能与自生抑制和相互抑制的机制有关[5,17]。PNF 拉伸过程中骨骼肌的等长收缩会触发自生抑制机制，刺激高尔基腱器官通过 Ib-抑制性中间神经元抑制同一肌肉的运动神经元，导致肌张力下降[18-20]。PNF 拉伸过程中，在目标肌肉的最大等长收缩期间，拮抗肌的向心收缩引起相互抑制机制，导致主动肌的收缩力量降低[16]。

PNF 拉伸对爆发力影响的观点分歧，可能与拉伸时间有关。研究表明，拉伸导致的力量表现下降和每个肌群的平均拉伸持续时间之间存在剂量—反应关系，PNF 拉伸对单个肌群的总刺激时间超过 60 秒更有可能造成力量表现显著下降，但较短的刺激时间几乎无影响[17,20-21]。本研究中，PNF 拉伸对单个肌群的总刺激时间为 38 秒，但对下肢爆发力的改善并不显著。因此认为，控制 PNF 拉伸时间可有效避免对爆发力的负面影响，但很难显著提高爆发力表现。

虽然本研究表明动态拉伸能显著改善中枢神经对肌肉工作的协调控制能力，但并没有发现 PNF 拉伸具备这方面的明显作用。如表 6 所示，PNF 拉伸后即刻股内侧肌、股外侧肌 IEMG 显著增长，股二头肌、腓肠肌外侧头 IEMG 显著下降，其他肌肉 IEMG 则无显著变化。从总体上看，PNF 拉伸对下肢肌电活动的影响似乎比动态拉伸更加积极，但对 CMJ 指标的影响与其他拉伸相比无显著差异，因此无法认定 PNF 拉伸是否有效改善了中枢神经对肌肉工作的协调控制能力。本研究中 PNF 拉伸对 CMJ 指标产生微弱提升效果，除了可能存在“肌腱刚度增加”因素的影响，还得益于 PNF 拉伸促使股内侧肌、股外侧肌的神经中枢募集更多运动单位参与收缩活动，使这些肌肉的爆发力在 PNF 拉伸后即刻显著增长，从而在一定程度上逆转了股二头肌和腓肠肌外侧头爆发力显著下降的负面效应。

综上所述，PNF 拉伸可对下肢神经肌肉功能产生有益影响，具有提高下肢爆发力的潜在可能性，因此爆发力类运动前可以进行 PNF 拉伸。

3.3　组合拉伸对 CMJ 指标和下肢不同肌肉 IEMG 值的急性影响

CMJ 结果显示，PNF＋动态组合拉伸后即刻纵跳高度和起跳功率无显著变化，但均值略有增长。虽然与其他拉伸相比，组合拉伸对爆发力的影响并没有显著变化，但考虑到，本研究设计的组合拉伸总负荷是两个单一拉伸负荷的叠加，而单一拉伸采用的负荷又是文献建议量[8-9]，因此该组合拉伸总负荷可能过大，不利于爆发力表现[2]。因此，后续研究可关注 PNF＋动态组合拉伸对爆发力影响的最佳负荷。

分析肌电结果发现，组合拉伸能够综合表现出所包含的不同单一拉伸对爆发力影响的特点。研究组合拉伸的初衷是希望抵消乃至逆转 PNF 拉伸对爆发力潜在的负面影响。换言之，研究组合拉伸的目的是观察不同单一拉伸进行组合练习后的综合效果，以了解组合拉伸对爆发力影响的特点。由表 6 可发现，不同拉伸方式对肌电的影响呈现出这样的特点：单一 PNF 拉伸和单一动态拉伸对股直肌和臀大肌 IEMG 均无影响，组合拉伸亦然；单一 PNF 拉伸和单一动态拉伸对股内侧肌 IEMG 产生积极影响，组合拉伸亦然；单一 PNF 拉伸和单一动态拉伸对腓肠肌外侧头 IEMG 产生消极影响，组合拉伸亦然；单一 PNF 拉伸和单一动态拉伸分别造成股外侧肌 IEMG 显著上升、下降，而组合拉伸则未产生影响。由此认为，组合拉伸之效果主要取决于其所包含的单一拉伸效果。这提示，明确不同单一拉伸的优缺点，然后合理组合，对改善爆发力表现具有积极意义。

综上所述，PNF＋动态组合拉伸能够在很大程度上综合地表现出单一 PNF 拉伸和单一动态拉伸对爆发力影响的特点，可改善神经肌肉功能，具有提高下肢爆发力的潜在可能性。

4　不同拉伸练习的实践启示

动态拉伸不仅适于爆发力类项目的准备活动，而且可对技能类项目的运动表现产生重要影响。对于技能主导类项目而言，运动技能表现对比赛成绩起着主导乃至决定性的作用[4]。不同肌群之间的协调性对运动技能的发挥产生重要影响[1]，而本研究表明动态拉伸有助于显著改善中枢神经对不同肌群收缩活动的协调控制能力，使不同肌群之间实现高度协调配合，使运动技能表现得更加准确和熟练，进而提高运动表现。

在对柔韧性及爆发力要求都较高的运动开始之前，进行 PNF 拉伸或 PNF＋动态组合拉伸比动态拉伸更有利于提高运动表现。以 110 米跨栏为例，其项目特点要求运动员必须具备较好的速度、力量、耐力和柔韧素质水平，以及较强的神经肌肉协调能力[22]。因此，110 米跨栏跑运动员

在准备活动中选择拉伸方式要考虑多重因素的影响，而不仅仅是爆发力。研究表明，动态拉伸难以有效改善柔韧素质，PNF拉伸和静态拉伸则可以显著提高柔韧素质，其中PNF拉伸对提高柔韧素质的效果最佳，能更加有效地改善跨栏运动员的关节活动范围[23-25]。由此可见，单一动态拉伸并不能满足所有运动项目对准备活动的要求，有时候结合PNF拉伸来改善运动员的柔韧素质，更有助于提高整体运动表现。

综上所述，根据不同运动项目的特点和要求，在运动前选择合理的拉伸方式进行准备活动，对提高运动表现具有积极意义。

5 结论

虽然未观察到动态拉伸、PNF拉伸及PNF+动态组合拉伸后即刻CMJ指标的显著变化，但适当拉伸可对下肢神经肌肉功能产生有利影响，具有提高下肢爆发力的潜在可能性，适合在爆发力类运动前进行练习。

参考文献：

[1] 王瑞元，苏全生. 运动生理学[M]. 北京：人民体育出版社，2011.

[2] 徐建华，程丽平. 拉伸训练对力量表现的效应和机制的研究进展[J]. 中国体育科技，2010，46(2)：76.

[3] 姜自立，李元. 静力性拉伸急性效应研究进展：作用、机制和启示[J]. 中国体育科技，2015，51(2)：3.

[4] 田麦久. 运动训练学[M]. 北京：人民体育出版社，2000.

[5] 席蕊，周敬滨，高奉，等. 不同牵拉技术在预防运动损伤中对不同运动能力即时效应的研究进展[J]. 体育科学，2018，38(11)：75.

[6] 罗伯特·E·麦卡蒂，杰夫·沙兰德. 易化牵伸术：简便易学的PNF牵伸及力量训练[M]. 矫玮，译. 北京：人民体育出版社，2009.

[7] 刘卉，凤翔云. 不同频率振动训练对下肢爆发力和柔韧性的即时影响研究[J]. 体育科学，2010，30(12)：71.

[8] 林凌峰. 不同动作重复次数的动力性拉伸对下肢爆发力的影响[J]. 青少年体育，2013(2)：52.

[9] 任贵，季盼军. 不同负荷量的动力拉伸练习对于20米加速跑成绩的影响[C]. //中国体育科学学会运动训练学分会. 第六届全国田径运动发展研究成果交流会论文集，2013：316.

[10] Mark Kovacs. 动态拉伸训练[M]. 张长念，译. 北京：北京体育大学出版社，2015：28-29.

[11] FLETCHER I M，ANNESS R. The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes[J]. Journal of Strength & Conditioning Research，2007，21(3)：784.

[12] FLETCHER I M，MONTECOLOMBO M M. An investigation intothe effects of different warm-up modalities on specific mo-tor skills related to soccer performance[J]. Journal of Strength & Conditioning Research，2010，24(8)：2096.

[13] BISHOP D. Warm up II：performance changes following active warm up and how to structure the warm up[J]. Sports Medicine，2003，33(7)：483.

[14] 胡声宇. 运动解剖学[M]. 北京：人民体育出版社，2000.

[15] 郝红红. PNF牵拉时间对肩关节柔韧性及肌肉力量的影响[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版)，2008(4)：519.

[16] REES S S，MURPHY A J，WATSFORD M L，et al. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on stiffness and force-producing characteristics of the ankle in active women[J]. Journal of Strength & Conditioning Research，2007，21(2)：572.

[17] SOZBIR K，WILLEMS M E T，TIRYAKI-SONMEZ R G，et al. Acute effects of contract-relax PNF stretching and static stretching on flexibility，jump performance and EMG activities：a case study[J]. Journal Biology of Exercise，2016，12(1)：33.

[18] MITCHELL U H，MYRER J W，HOPKINS J T，et al. Neurophysiological reflex mechanisms' lack of contribution to the success of PNF stretches[J]. Journal of Sport Rehabilitation，2009，18(3)：343.

[19] YUKTASIR B，KAYA F. Investigation into the long-term effects of static and PNF stretching exercises on range of motion and jump performance[J]. Journal of Bodywork & Movement Therapies，2009，13(1)：11.

[20] BEHM D G，BLAZEVICH A J，KAY A D，et al. Acute effects of muscle stretching on physical performance，range of motion，and injury incidence in healthy active individuals：a systematic review[J]. Applied Physiology，Nutrition，and Metabolism，2016，41(1)：1.

[21] REIS E F S，PEREIRA G B，de SOUSA N M F，et al. Acute effects of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretching on maximal voluntary contraction and muscle electromyographical

activity in indoor soccer players[J]. Clinical Physiology & Functional Imaging,2013,33(6):418.

[22] 陶宏军,张庆文. 刘翔备战奥运会的专项竞技能力训练特征分析[J]. 天津体育学院学报,2008(3):224.

[23] 刘晓阳,陈乐琴. 肌肉拉伸对运动表现急性效应和机制的研究进展[J]. 河北体育学院学报,2021,35(2):72.

[24] 李芳,郑丽敏. 健美操专项柔韧素质训练方法实验比较研究[J]. 武汉体育学院学报,2011,45(9):84.

[25] 常颍,王晓东. PNF 法拉伸和静力拉伸练习对改善跨栏运动员的髋关节柔韧性作用的比较[J]. 北京体育大学学报,2005(11):81.

Acute Effects of Different Stretching on the Explosive Power of Lower Limbs

HUA Pengya[1], ZHANG Biyu[2]

(1. Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China; 2. Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: *Objectives*: To investigate the acute effects of dynamic stretching, PNF stretching and PNF+ dynamic combination stretching on the explosive power of lower limbs, and to provide scientific basis for athletes to choose reasonable stretching methods in pre-competition activities. *Methods*: A total of 17 male subjects with more than two years of strength training experience were selected and designed within the subjects. Four experimental tasks including no stretching, dynamic stretching, PNF stretching and combined stretching were arranged in different four days. The experimental process was as follows. The subjects were subjected to stretching intervention after jogging for 5 min. At the end of the experiment, CMJ test was carried out on the dynamometer to obtain the vertical jump height and take-off power data to evaluate the explosive force of the lower limb. The surface EMG signals of the lower limb muscles in the process of CMJ were synchronously recorded by the wireless surface EMG tester, and the maximum muscle strength of different muscle groups was measured. Combined with the CMJ index, the influence characteristics of different stretching on the explosive force were further understood. Analysis of variance with single factor repeated measures was used to analyze the above data. *Results*: There was no significant change in CMJ index immediately after three kinds of stretching. Immediately after dynamic stretching, IEMG of lateral femoral muscle, gastrocnemius medial head and lateral gastrocnemius decreased significantly, and IEMG of medial thigh muscle increased significantly; immediately after PNF stretching, IEMG of vastus medialis muscle, lateral femoral muscle increased significantly, while IEMG of biceps femoris and lateral gastrocnemius decreased significantly; IEMG of the lateral head of lateral gastrocnemius decreased significantly immediately after combination stretching, while IEMG of vastus medialis muscle increased significantly. There were no significant changes in other EMG activities. *Conclusions*: Appropriate stretching can have a beneficial effect on the neuromuscular function of lower limbs, which has the potential to improve the explosive force of lower limbs and is suitable for practice before explosive exercise.

Key words: combination stretching; PNF stretching; dynamic stretching; explosive force; EMG; preparation activities