中国体育科技
2022年（第58卷）第11期
CHINA SPORT SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.58, No.11, 63-68, 2022

文章编号：1002-9826（2022）11-0063-06
DOI：10. 16470/j. csst. 2022007

北欧腘绳肌离心力量训练对足球专项股后肌群损伤人群下肢对称性的影响

Influence of Nordic Hamstring Eccentric Training on Lower-Limb Symmetry in Football-Specific Hamstring Injury Athletes

邱　岑[1,2]，李翰君[1*]

QIU Cen[1,2]，LI Hanjun[1*]

摘　要：目的：检验北欧腘绳肌离心力量训练（nordic hamstring exercise，NHE）对于提高股后肌群力量、柔韧性及其双侧对称性的有效性；进一步探究NHE对疾跑过程中髋关节和膝关节关节角度对称性的影响。方法：招募足球专项男性运动员13名，其中7名有股后肌群损伤史（损伤组），6名无下肢损伤史（健康组）。所有受试者入组后照常进行训练，此外损伤组还需按照训练计划完成为期4周的NHE。在干预前后1周内，分别采集2组受试者的双侧股后肌群力量、柔韧性参数以及35 m疾跑过程中的运动学数据。其中柔韧性参数通过被动直腿抬高实验测得的髋关节最大屈曲角度来表征，并进一步计算双侧股后肌群力量不对称指数和双侧柔韧性不对称指数，以及在疾跑过程中着地时刻、地面反作用力（ground reaction force，GRF）最大时刻及离地时刻的髋、膝关节角度不对称指数。结果：4周的NHE显著提高了损伤组股后肌群力量（P=0.009）和柔韧性（P=0.022）。同时，训练还能改善损伤组股后肌群柔韧性的不对称指数（P=0.010）。此外，训练显著降低了疾跑过程中着地时刻（P=0.049）和GRF最大时刻（P=0.010）髋角的不对称指数。结论：4周的NHE能够在一定程度上增强股后肌群力量，提高柔韧性。训练虽然没有改善股后肌群力量的不对称性，但是提高了下肢柔韧性的对称性和疾跑过程中髋关节角度的对称性。

关键词：股后肌群损伤；腘绳肌离心力量训练；股后肌群力量；股后肌群柔韧性；步态对称性

Abstract: Objective: To test the effectiveness of Nordic hamstring exercise for improving the strength, flexibility and bilateral symmetry of the hamstring; further explore the effect of Nordic hamstring exercise on the symmetry of the hip and knee joint angles during sprinting. Methods: Thirteen male sprinting athletes participated, of whom seven got injured (injury group) and six were healthy (healthy group). All subjects continued the daily training, and the injury group completed a 4-week Nordic hamstring exercise according to the training plan. Within one week before and after the intervention, the kinematics data, the strength and flexibility parameters of the bilateral hamstring were collected during the 35 m sprint of the subjects. The flexibility parameter was characterized by the maximum flexion angle of the hip joint obtained by the passive straight leg elevation experiment, and further calculate the bilateral hamstring strength asymmetry index and bilateral flexibility asymmetry index, as well as in the process of sprinting, the time of landing, the maximum ground reaction force (GRF) and the time of the ground off the hip joint and knee joint angle asymmetry index. Results: The 4-week Nordic hamstring exercise significantly improved the strength (P=0.009) and flexibility (P=0.022) of the hamstring of the injury group. At the same time, training can also improve the asymmetry index of the flexibility of the hamstring in the injury group (P=0.010). In addition, training reduced the asymmetry index of the hip angle at the moment of landing and the moment of maximum GRF during sprinting (P=0.049, P=0.010). Conclusions: The 4-week Nordic hamstring exercise can improve the strength of the hamstring and the flexibility of the hamstring to a certain extent. Although the training did not reduce the asymmetry of the bilateral hamstring strength, it im-

基金项目：
国家自然科学基金项目（81572212）

第一作者简介：
邱岑（1996-），女，硕士，主要研究方向为运动生物力学，E-mail：15650719520@163.com。

***通信作者简介：**
李翰君（1983-），男，教授，博士，主要研究方向为运动生物力学，E-mail：lihanjun@bsu.edu.cn。

作者单位：
1. 北京体育大学，北京100084；
2. 厦门乔丹科技有限公司，福建厦门 361006
1. Beijing Sport University, Beijing 100084, China;
2. Xiamen Qiaodan Technology Co. Ltd., Fujian 361006, China.

proved the symmetry of the flexibility of the lower limbs and the symmetry of the hip angle during sprinting.

Keywords: *hamstring injuries; hamstring eccentric training; hamstring strength; hamstring flexibility; gait symmetry*

中图分类号：G804.53　　**文献标识码**：A

股后肌群损伤是最常见的运动损伤之一（韩经超 等，2015；Woods et al.，2004），多发于有突然加速（疾跑）的运动项目中，如足球（周林 等，2018）、短跑（姚磊，2007）、橄榄球（Engebretsen et al.，2013）等。股后肌群伤后症状（疼痛）持续时间长、康复周期长（Petersen et al.，2005），且复发率极高（De Vos et al.，2014）。因此，股后肌群损伤的预防至关重要。股后肌群损伤中易损伤的肌肉为股二头肌长头（万祥林 等，2019），易发生损伤的时刻为摆动末期（万祥林，2017；钟运健 等，2014）。疾跑的摆动末期指下肢在快速屈髋、伸膝的状态下，股后肌群作离心收缩使小腿减速以实现着地（Croisier et al.，2008）。

有关股后肌群损伤的影响因素研究发现：1）目前研究表明柔韧性差是股后肌群损伤的危险因素之一（刘卉 等，2011）。对于柔韧性较差的人群，股后肌群在疾跑摆动末期产生的应变更易超越肌肉本身所能承受的力学极限，从而导致拉伤（Yu et al.，2017）。此外，力量不足与失衡也是股后肌群损伤的危险因素（Croisier et al.，2008）。在肌力较弱的情况下，做最大离心收缩时肌肉更易发生损伤。因此，增强股后肌群离心力量是预防股后肌群损伤的方法之一，能降低损伤发生率（Petersen et al.，2011）。以往研究也表明北欧腘绳肌离心力量训练（nordic hamstring exercise，NHE）能够降低股后肌群的损伤风险（谭恺 等，2019；Petersen et al.，2011）。2）除了力量和柔韧性，也有学者对双侧下肢的对称性进行探究。当双侧下肢的力量不对称≥10%时，非优势侧的损伤风险会显著增大（Orchard et al.，1997），双侧股后肌群力量对称性的改善有助于降低损伤的发生率（刘卉 等，2011）。而NHE是同时针对两侧股后肌群进行的训练，可能因优势侧的代偿作用，使优势侧承受更大的训练强度，加剧双侧下肢力量和柔韧性不对称的情况。研究发现，有股后肌群损伤史人群的患侧离心力量低于健侧（Croisier et al.，2002），这一不对称现象会增加其再次损伤的风险（Haxhiu et al.，2015）。但目前鲜见NHE影响股后肌群力量或柔韧性对称性的研究。3）在疾跑过程中下肢动作的对称性也与股后肌群损伤发生有关（Zifchock et al.，2006）。而对称性受神经肌肉控制和骨骼系统的影响（Trivers et al.，2014），双侧下肢力量的不平衡会引发跑步过程中动作的不对称现象（Sadeghi et al.，2000；Zifchock et al.，2006），是引起初次或再次损伤的危险因素（Pappas et al.，2012）。但目前研究大多仅探究了NHE对于股后肌群本身力量和柔韧素质的影响，还有待进一步探索其在疾跑过程中对下肢动作对称性的影响。

1　研究对象与方法

1.1　受试者

本研究共招募足球专项男性运动员13名，其中损伤组7名［身高：（175.3±2.4）cm；体质量：（70.6±4.5）kg］，健康组6名［身高：（176.7±3.0）cm；体质量：（65.2±7.7）kg］。损伤组纳入标准：3年内发生过股后肌群拉伤，损伤发生在疾跑过程中，且为单侧股后肌群拉伤，除此之外半年内下肢再无任何其他损伤。所有受试者均签署了知情同意书。

1.2　研究设计

在训练前采集2组受试者疾跑的运动学数据、股后肌群力量和柔韧性数据作为基线测试，损伤组进行为期4周的常规训练和NHE干预训练，健康组照常训练。4周后，再次采集2组受试者疾跑的运动学数据、股后肌群力量和柔韧性数据。

1.3　干预内容

基线测试后，损伤组按照要求完成为期4周的NHE（表1）。在进行NHE时需要固定小腿，要求受试者从直立位开始以稳定速度缓慢向前倾，保持背部和臀部伸展，并尽可能缓慢地用股后肌群来抵抗身体前倾，直到支撑不住，双手着地呈俯卧位，然后借助双手恢复起始位，这一过程为一次训练。

表1　干预方案

Table 1　Prevention Program

时间	训练频率/（次·周$^{-1}$）	训练组数/组	每组训练量/次	训练总量/次
第1周	3	4	6	24
第2周	3	4	8	32
第3周	3	4	9	36
第4周	3	4	10	40

1.4　数据采集

采集疾跑过程中运动学和动力学数据时，要求受试者身着紧身上衣、紧身短裤和低帮运动鞋，贴点方案采用Helen Hayes模型（左右髂前上嵴点、左右髂嵴最高点、腰后点、左右大腿点、左右内外膝点、左右小腿点、左右内外踝点、左右足尖点、左右足跟点），标定后摘除内膝点和内踝点。使用8镜头Motion Analysis Raptor-4红外运动捕捉系统（圣罗莎，美国）以及Cortex 2.6软件，以200幅/s的采样频率采集疾跑过程中下肢环节的运动学参数，使用2个

Kistler 9281CA测力台（温特图尔，瑞士）同步采集地面反作用力（ground reaction force，GRF），采集频率为1 000 Hz。通过Cortex 2.6软件发出的信号同步采集运动学和动力学数据。

在热身之后，受试者需成功完成3次疾跑，跑步距离约35 m。受试者在距离测力台直线20 m处以站立起跑姿势准备，听到指令后全力跑向终点。为避免疲劳对受试者的影响，每次测试后可以休息至恢复，一般认为休息5～6 min身体机能即可恢复（Hunter et al.，2004）。受试者无任何步伐调整，左右脚分别完整踏在测力台上时记为1次成功的测试。在3次测试中选择用时最短的1次进行后续分析。

使用北欧股后肌群力量测试仪（NBE-0530 NordBord，布里斯班，澳大利亚）（图1）进行股后肌群力量测试（Opar et al.，2015）。受试者在软垫上呈跪姿，用固定环将脚踝固定，固定环内置具有无线数据采集功能的单轴测压元件；踝关节支架和测力元件安装在枢轴上，使测力元件始终垂直于杆。受试者热身后开始测试，要求其缓慢前倾身体，同时最大限度地抵抗身体的前倾并保持躯干和臀部在一个平面，双手交叉放于胸前。允许测试人员给予口头鼓励，以确保受试者尽最大努力。若受试者在测试过程中出现过度的屈髋或在开始时没有控制前倾速度，则重新测试。在3次测试中选择最大值进行后续分析。

图1　北欧股后肌群力量测试仪

Figure 1.　Nordic Hamstring Strength Tester

本研究应用被动直腿抬高（passive straight leg-raise，PSLR）测试方案测量双侧髋关节的最大屈曲角度以表征股后肌群柔韧性。股后肌群柔韧性测试时，用一台拍摄频率为25 Hz的SONY HVR-V1C高清摄像机进行拍摄，摄像机置于距地面5 cm处且其主光轴与受试者人体矢状面垂直。热身后开始测试，受试者仰卧于水平垫上，测试者用一只手使受试者的被测腿直膝抬高，同时另一只手置于对侧的髂前上嵴处以防骨盆旋转。测试者需保证在整个过程中受试者的膝关节处于伸直位，当测试者感受到较大阻力或被发现骨盆开始倾斜时，停止抬高被测腿，此时的髋关节屈曲角度为测试结果。每名受试者单侧下肢测试3次，每次间隔40 s。用视迅运动分析系统4.0软件（北京，中国）对图像进行处理，获取测试腿一侧的肩峰、髋关节中心和踝关节中心的二维坐标。股后肌群柔韧性指标定义为PSLR测试中达到最大髋关节屈曲幅度时刻，髋关节中心指向踝关节中心的向量与肩峰指向髋关节中心的向量间的夹角。取每条腿3次测试的最大值纳入后续分析。

1.5　数据处理与分析

通过Cortex 2.6处理运动学数据，采用Butterworth低通滤波法（截断频率13.3 Hz）平滑数据。采用欧拉角的方法（Kadaba et al.，1990）计算髋、膝的三维角度，转动轴依次为x、y、z。

纳入后续统计分析的指标包括着地时刻、GRF最大时刻和离地时刻下肢髋、膝关节角度及其不对称指数（Zifchock et al.，2008），双侧股后肌群力量、柔韧性及其不对称指数。关节角度不对称指数的计算公式为：

当$\left[45° - \arctan\left(\frac{X_{左}}{X_{右}}\right)\right] \leqslant 90°$时，

$$不对称指数=\frac{\left[45° - \arctan\left(\frac{X_{左}}{X_{右}}\right)\right]}{90°} \times 100\% \quad (1)$$

当$\left[45° - \arctan\left(\frac{X_{左}}{X_{右}}\right)\right] > 90°$时，

$$不对称指数=\frac{\left[45° - \arctan\left(\frac{X_{左}}{X_{右}}\right) - 180°\right]}{90°} \times 100\% \quad (2)$$

其中，$X_{左}$和$X_{右}$分别为左侧或右侧的髋、膝关节角度值。

股后肌群力量和股后肌群柔韧性不对称指数的计算公式为：

$$不对称指数=\frac{\left|F_{左} - F_{右}\right|}{0.5 \times \left(F_{左} + F_{右}\right)} \times 100\% \quad (3)$$

其中，$F_{左}$和$F_{右}$分别为左侧或右侧的股后肌群力量值或髋关节最大屈曲角度值。

1.6　统计分析

用SPSS 21.0软件（芝加哥，美国）进行统计。使用双因素重复测量方差分析检验股后肌群力量和柔韧性指标，受试者内因素为时间（干预前、干预后）和干预侧（损伤组：健侧、患侧；健康组：左侧、右侧）。使用混合设计的双因素方差分析检验股后肌群力量、柔韧性和疾跑过程中下肢关节角度不对称指数等指标，组内因素为时间（干预前、干预后），组间因素为组别（损伤组、健康组）。如有交互作用，则进行简单效应分析。所有结果以$M \pm SD$的形式呈现，统计学显著性定为一类错误概率不大于0.05（$P < 0.05$）。

2　研究结果

2.1　4周NHE对股后肌群力量的影响

对股后肌群力量测试结果进行方差分析发现（表2），损伤组时间与干预侧的交互作用不显著（P=0.469），训练显著提高了股后肌群健、患侧的力量（P=0.009）；健康组

时间与干预侧的交互作用不显著（P=0.889），两腿股后肌群力量的前后测差异均不显著（P=0.134）。

表2　股后肌群力量测试结果

Table 2　Results of Hamstring Strength Test　N

组别	干预侧	前测	后测
损伤组	患侧	314.57±61.70[a]	360.57±54.41[a]
	健侧	336.29±72.87[a]	389.00±8.18[a]
健康组	左侧	286.83±43.08	320.17±43.01
	右侧	281.17±64.13	328.83±32.84

注：a表示干预前后差异显著（P<0.05），下同。

2.2　4周NHE对股后肌群柔韧性的影响

对股后肌群柔韧性测试结果进行方差分析发现（表3），损伤组时间与干预侧的交互作用不显著（P=0.695），训练显著提高了股后肌群健、患侧的柔韧性（P=0.022）；健康组时间与干预侧的交互作用不显著（P=0.765），两腿股后肌群柔韧性的前后测差异均不显著（P=0.444）。

表3　PSLR实验结果

Table 3　Results of PSLR Test　（°）

组别	干预侧	前测	后测
损伤组	患侧	82.57±11.09[a]	92.81±7.87[a]
	健侧	82.71±16.00	92.38±8.45
健康组	左侧	83.83±6.49	86.83±11.24
	右侧	85.50±6.60	86.83±9.91

2.3　4周NHE对股后肌群力量和柔韧性对称性的影响

如表4所示，股后肌群力量的不对称指数在组内和组间不存在交互作用（P=0.790），训练前、后损伤组和健康组均无显著差异（P=0.409，P=0.758）。股后肌群柔韧性不对称指数的组内与组间交互作用显著（P=0.038），进一步进行简单效应分析发现，训练干预显著降低了损伤组股后肌群柔韧性的不对称指数（P=0.010），而健康组前后测无显著差异（P=0.753），干预前、后损伤组和健康组的不对称指数均无显著差异（P=0.130，P=0.188）。

表4　股后肌群力量和柔韧性的不对称指数

Table 4　Asymmetry Index of Hamstring Strength and Flexibility

	损伤组		健康组	
	前测	后测	前测	后测
股后肌群力量/%	10.01±5.37	8.63±6.84	9.78±8.20	7.12±5.32
股后肌群柔韧性/%	9.44±6.16[a]	3.35±1.73[a]	4.65±3.94	5.33±3.26

2.4　4周NHE对疾跑过程中下肢关节角度对称性的影响

如表5所示，在着地时刻，髋角不对称指数的组内和组间交互作用显著（P=0.016），进一步进行简单效应分析发现，训练干预显著降低损伤组髋角的不对称指数（P=0.010），而健康组干预前后无显著差异（P=0.338）；损伤组前测髋角的不对称指数显著大于健康组（P=0.010），而后测的组间差异不显著（P=0.420）。在GRF最大时刻，组内和组间交互作用显著（P=0.042），简单效应分析发现，训练显著改善损伤组髋角的不对称指数（P=0.049），而健康组组内差异不显著（P=0.304）；损伤组前测髋角的不对称指数显著大于健康组（P=0.024），而后测组间差异不显著（P=0.540）。在离地时刻，组内和组间交互作用不显著（P=0.142），干预前后（P=0.296）、损伤组与健康组（P=0.435）之间均无显著差异。

表5　疾跑过程中下肢关节角度的不对称指数

Table 5　Asymmetry Index of Lower-Limb Joint Angles during Sprinting　%

时刻	关节	损伤组		健康组	
		前测	后测	前测	后测
着地时刻	髋角	9.44±5.85[ab]	3.13±1.99[a]	2.04±1.28[b]	4.24±2.83
	膝角	6.64±3.8	9.19±7.82	5.84±3.3	3.72±1.95
GRF最大时刻	髋角	15.69±7.91[ab]	7.46±6.46[a]	5.16±6.27[b]	9.49±4.91
	膝角	5.13±5.31	5.89±3.94	6.69±3.35	5.29±3.93
离地时刻	髋角	21.97±14.47	10.12±10.5	11.17±12.91	13.31±6.37
	膝角	7.50±4.99	10.76±12.84	13.37±11.43	12.75±8.73

注：b表示组别之间差异显著（P<0.05）。

膝角的不对称指数在着地时刻下，组内和组间不存在交互作用（P=0.309），训练前后、损伤组和健康组之间均无显著差异（P=0.923，P=0.080）。在GRF最大时刻下，组内和组间无交互作用（P=0.327），训练前后、损伤组和健康组之间均无显著差异（P=0.767，P=0.791）。在离地时刻下，组内和组间交互作用不显著（P=0.523），训练前后、损伤组和健康组之间均无显著差异（P=0.664，P=0.419）。

3　讨论

本研究主要发现：1）NHE能有效提高股后肌群力量；2）NHE可以改善股后肌群柔韧性的不对称情况；3）有股后肌群损伤史的运动员在疾跑过程中有更严重的髋角不

对称情况，NHE可以改善此过程中髋角的对称性。

研究结果表明，4周的NHE明显提高了损伤组双侧股后肌群的力量，与前人研究相符（程东升，2020；谭恺 等，2019；张明，2016；Arnason et al.，2008）。此外，有关力量对称性的分析结果表明，NHE是一种均衡发展双侧股后肌群力量的训练方法。双侧力量的不对称可能增加疾跑过程中股后肌群的损伤风险（Opar et al.，2012），一旦出现优势侧代偿，力量的不对称可能更加明显，这不利于损伤的恢复（Green et al.，2020），而NHE能同时发展双侧力量。足球的动态特性要求在几乎所有的踢球技巧中都使用单侧下肢，这可能会改变下肢之间的力量平衡（Fousekis et al.，2010）。然而，本研究中并未出现单侧代偿情况，说明NHE可以作为均衡发展双侧力量的可行方法。

损伤组健患侧的股后肌群柔韧性和股后肌群力量均无差异，但这不代表股后肌群的损伤与之无关，可能损伤组已从损伤部分恢复。股后肌群柔韧性和力量的恢复是判断损伤后是否康复以及能否重返赛场的重要指标（Askling et al.，2006）。股后肌群力量在损伤后20天内即可恢复至伤前水平，髋关节活动度则可在损伤后50天内完成恢复（Maniar et al.，2016）。然而，在损伤组健患侧与健康组左右侧的股后肌群力量和柔韧性均无差异的情况下，疾跑过程中下肢不对称现象仍存在，这表明，损伤后股后肌群力量和柔韧性的对称容易改善，但动作的对称不易恢复。临床上通常把对称性作为康复进阶的指标，但对称性的标准范围尚未确定，有待进一步探究。

4周NHE对股后肌群力量对称性没有影响，但改善了疾跑过程中动作的对称性。股后肌群损伤后会出现瘢痕组织，可能诱发体内肌肉肌腱力学的改变从而影响肌肉肌腱单位的力-长度特性和关节运动模式（Silder et al.，2010）。损伤后，患侧腿在摆动末期时股后肌群的运动长度会变短（Silder et al.，2010）。疾跑过程中动作对称性的改善可能与肌肉激活优化与动作控制模式的改进相关，NHE可能也会改变下肢的神经肌肉收缩控制模式，可进一步探究其对肌肉收缩控制模式的影响。未来除关注股后肌群力量和柔韧性对称性的恢复以外，还应增加对跑步动作模式的关注，优化运动员在疾跑过程中的动作模式以更好地避免损伤。

4周NHE降低了损伤组疾跑过程中髋角的不对称指数，说明训练能有效改善双侧下肢在疾跑过程中的动作不对称性。下肢动作对称性与疾跑运动表现和跑步技术息息相关（Schache et al.，2009），且与跑步步态也有关系（Rumpf et al.，2014；Trivers et al.，2014）；神经肌肉控制是影响动作对称性的重要因素（Trivers et al.，2014）；前几次下肢对称性的下降可能会导致下一次股后肌群的损伤（Schache et al.，2009）。因此，NHE能改善下肢髋关节运动的不对称性，但能否降低损伤风险有待研究。

前测时损伤组在着地时刻和GRF最大时刻的髋角的不对称指数显著大于健康组，说明损伤组在疾跑过程中髋关节的动作对称性更差。在股后肌群发生损伤前，摆动末期双侧下肢髋关节和膝关节的运动学和动力学数据呈现出差异（Schache et al.，2009）。还有研究显示，跑步者下肢动作的不对称性可能与某一侧下肢损伤风险增加有关（Perttunen et al.，2004）。然而也有研究指出，在实验进行前、后1年内，受试者的跑步步态对称性与股后肌群损伤之间没有显著联系（Haugen et al.，2018）。不论是高水平短跑运动员、中等水平短跑运动员还是长距离跑者，都存在跑步步态的下肢不对称（Exell et al.，2012；Rumpf et al.，2014；Zifchock et al.，2006），故跑步步态的不对称可能是一种常态，但仍不能排除有运动员因下肢跑步动作的不对称而受伤的可能性（Haugen et al.，2018）。今后可以对下肢动作对称性进行前瞻性研究来加以确定。

4 结论

4周的NHE能够在一定程度上增强股后肌群力量，提高柔韧性。虽然对股后肌群力量不对称性的改善作用不显著，但能够显著提高下肢柔韧性的对称性和疾跑过程中髋关节角度的对称性。

参考文献：

程东升，2020. 8周改进Nordic股后肌群训练法对膝关节等动收缩屈伸力矩影响的研究[D]. 济南：山东师范大学.

韩经超，刘卉，2015. 运动员腘绳肌损伤危险因素的Meta分析[J]. 北京体育大学学报，38(2)：79-86.

刘卉，霍科林，于冰，2011. 运动员股后肌群拉伤危险因素研究进展[J]. 中国运动医学杂志，30(6)：571-576，596.

谭恺，张春合，吕海龙，2019. 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，38(7)：601-610.

万祥林，2017. 柔韧和力量素质对疾跑中股后肌群生物力学特征的影响[D]. 北京：北京体育大学.

万祥林，曲峰，刘卉，等，2019. 疾跑时股后肌群的生物力学特征：对拉伤危险时相的分析[J]. 中国体育科技，55(2)：70-75.

姚磊，2007. 我国优秀田径运动员的运动损伤流行病学调查与分析[J]. 北京体育大学学报，30(3)：363-366.

张明，2016. 下肢离心练习对提高女排运动员移动速度作用的实验研究[J]. 北京体育大学学报，39(6)：127-132.

钟运健，刘宇，傅维杰，等，2014. 高速跑时下肢双关节肌做功特性及拉伤风险的生物力学分析[J]. 体育科学，34(11)：60-66.

周林，章岚，2018. 足球运动员腘绳肌损伤研究进展[J]. 中国运动医学杂志，37(12)：1038-1044.

ARNASON A，ANDERSEN T E，HOLME I，et al.，2008. Prevention of hamstring strains in elite soccer：an intervention study[J]. Scand J Med Sci Sports，18(1)：40-48.

ASKLING C，SAARTOK T，THORSTENSSON A，2006. Type of acute hamstring strain affects flexibility，strength，and time to return to pre-injury level[J]. Br J Sports Med，40(1)：40-44.

CROISIER J-L，GANTEAUME S，BINET J，et al.，2008. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players[J]. Am J Sports Med，36(8)：1469-1475.

CROISIER J-L，FORTHOMME B，NAMUROIS M H，et al.，2002. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders[J]. Am J Sports Med，30(2)：199-203.

DE VOS R-J，REURINK G，GOUDSWAARD G-J，et al.，2014. Clinical findings just after return to play predict hamstring re-injury，but baseline MRI findings do not[J]. Br J Sports Med，48(18)：1377-1384.

EKSTRAND J，HäGGLUND M，WALDéN M，2011. Injury incidence and injury patterns in professional football：The UEFA injury study[J]. Br J Sports Med，45(7)：553-558.

ENGEBRETSEN L，SOLIGARD T，STEFFEN K，et al.，2013. Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012[J]. Br J Sports Med，47(7)：407-414.

EXELL T，IRWIN G，GITTOES M R，et al.，2012. Implications of intra-limb variability on asymmetry analyses[J]. J Sports Sci，30(4)：403-409.

FOUSEKIS K，TSEPIS E，VAGENAS G，2010. Multivariate isokinetic strength asymmetries of the knee and ankle in professional soccer players[J]. J Sports Med Phys Fitness，50(4)：465-474.

GREEN B，BOURNE M N，VAN DYK N，et al.，2020. Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI)：A 2020 systematic review and meta-analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport[J]. Br J Sports Med，54(18)：1081-1088.

HAUGEN T，DANIELSEN J，MCGHIE D，et al.，2018. Kinematic stride cycle asymmetry is not associated with sprint performance and injury prevalence in athletic sprinters[J]. Scand J Med Sci Sports，28(3)：1001-1008.

HAXHIU B，MURTEZANI A，ZAHITI B，et al.，2015. Risk factors for injuries in professional football players[J]. Folia Med，57(2)：138-143.

HUNTER J P，MARSHALL R N，MCNAIR P J，2004. Interaction of step length and step rate during sprint running[J]. Med Sci Sports Exerc，36(2)：261-271.

KADABA M P，RAMAKRISHNAN H K，WOOTTEN M E，1990. Measurement of lower extremity kinematics during level walking[J]. J Orthop Res，8(3)：383-392.

MANIAR N，SHIELD A J，WILLIAMS M D，et al.，2016. Hamstring strength and flexibility after hamstring strain injury：a systematic review and meta-analysis[J]. Br J Sports Med，50(15)：909-920.

OPAR D A，WILLIAMS M D，SHIELD A I，2012. Hamstring strain injuries：factors that lead to injury and re-injury[J]. Sports Med，42(3)：209-226.

OPAR D A，WILLIAMS M D，TIMMINS R G，et al.，2015. Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers[J]. Med Sci Sports Exerc，47(4)：857-865.

ORCHARD J，MARSDEN J，LORD S，et al.，1997. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers[J]. Am J Sports Med，25(1)：81-85.

PAPPAS E，CARPES F P，2012. Lower extremity kinematic asymmetry in male and female athletes performing jump-landing tasks[J]. J Sci Med Sports，15(1)：87-92.

PERTTUNEN J R，ANTTILA E，SÖDERGÅRD J，et al.，2004. Gait asymmetry in patients with limb length discrepancy[J]. Scand J Med Sci Sports，14(1)：49-56.

PETERSEN J，HÖLMICH P，2005. Evidence based prevention of hamstring injuries in sport[J]. Br J Sports Med，39(6)：319-323.

PETERSEN J，THORBORG K，NIELSEN M B，et al.，2011. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer：A cluster-randomized controlled trial[J]. Am J Sports Med，39(11)：2296-2303.

RUMPF M C，CRONIN J B，MOHAMAD I N，et al.，2014. Kinetic asymmetries during running in male youth[J]. Phys Ther Sport，15(1)：53-57.

SADEGHI H，ALLARD P，PRINCE F，et al.，2000. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait：A review[J]. Gait Posture，12(1)：34-45.

SCHACHE A G，WRIGLEY T V，BAKER R，et al.，2009. Biomechanical response to hamstring muscle strain injury[J]. Gait Posture，29(2)：332-338.

SILDER A，THELEN D G，HEIDERSCHEIT B C，2010. Effects of prior hamstring strain injury on strength，flexibility，and running mechanics[J]. Clin Biomech，25(7)：681-686.

TRIVERS R，FINK B，RUSSELL M，et al.，2014. Lower body symmetry and running performance in elite Jamaican track and field athletes[J]. PLoS One，9(11)：e113106.

WOODS C，HAWKINS R D，MALTBY S，et al.，2004. The football association medical research programme：An audit of injuries in professional football：Analysis of hamstring injuries[J]. Br J Sports Med，38(1)：36-41.

YU B，LIU H，GARRETT W E，2017. Mechanism of hamstring muscle strain injury in sprinting[J]. J Sport Health Sci，6(2)：130-132.

ZIFCHOCK R A，DAVIS I，HAMILL J，2006. Kinetic asymmetry in female runners with and without retrospective tibial stress fractures[J]. J Biomech，39(15)：2792-2797.

ZIFCHOCK R A，DAVIS I，HIGGINSON J，et al.，2008. The symmetry angle：A novel，robust method of quantifying asymmetry[J]. Gait Posture，27(4)：622-627.

（收稿日期：2021-05-13；　修订日期：2022-11-03；　编辑：高天艾）