文章编号:1000-2367(2016)03-0172-06 DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2016.03.030

16 周规律太极拳练习对中老年人下肢本体感觉和肌力的影响

王 蕊,李玉周

(河南师范大学 体育学院,河南 新乡 453007)

摘 要:目的:探讨规律太极拳练习对下肢机能的影响,为预防或延缓老年人下肢功能衰退提供理论依据.方法:选择 40 名普通健康人为研究对象,随机分为实验组(16 周 24 式简化太极拳练习)和对照组(无规律运动),完成 16 周前、后下肢本体感觉、肌力、神经肌肉控制能力等测试.结果:与实验前相比,① 两组受试对象下肢肌力均有提高,但太极拳练习组等长 60°肌力前后比较有显著性变化.② 实验组受试对象左、右膝关节运动觉有显著改善,对照组左、右膝关节运动觉均没有显著性变化;两组受试对象膝关节左、右侧三维位置觉实验前后比较均没有显著性变化.③ 两组受试对象左右侧闭眼单腿站均有提高,但实验前后比较均没有显著性变化.④ 实验组受试对象下肢闭眼走直线偏离中线长度实验前后比较均有显著性变化.结论:① 16 周规律太极拳练习能够明显改善中老年人下肢肌力和本体感觉机能.② 16 周规律太极拳练习能够改善中老年人下肢神经肌肉控制能力,但对平衡机能的影响不显著.③ 16 周规律太极拳练习能够改善中老年人下肢机能,应科学应用到大众健身中,预防老年人跌倒发生.

关键词:太极拳练习;本体感觉;肌力;神经肌肉控制能力;平衡能力

中图分类号:G804.5 **文献标志码**:A

我国逐步进入老龄化社会,随着老龄化社会的发展,老年人群出现下肢运动机能衰退现象,包括:日常生活活动中动态姿势控制不稳,静态站立平衡能力减弱以及绝对肌力的下降等,跌倒和骨性关节炎等伤病的发病率逐年增加,降低了老年人的生活质量,加重了社会经济负担,因此为老年人选择一种有效的运动方式及合理的运动量改善下肢平衡能力尤为重要.近 20 年的研究发现:太极拳练习对平衡功能[1-5]、心肺机能[6-7]、心理健康[8-10]等方面有积极作用,对老年人柔韧性、腿部力量等有很好的作用[11-12],且有很好的降血压功效[13-14],通过规律太极拳练习改善下肢功能,对老龄化人群既可以达到防病、治病的目的,又可以避免跌倒造成的生活质量下降和社会负担的增加,更重要的是这种方式非常经济,不需要特殊器械就能够实施练习,达到促进健康的目的.探讨规律太极拳练习对下肢神经肌肉控制能力的影响,可为老年人下肢功能科学锻炼,预防跌倒的发生提供科学依据,为老龄化人群下肢功能锻炼方法的选择提供参考.

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取 40 名普通健康人为研究对象.年龄 50~65 岁,既往膝关节无手术史;髋、踝关节及下肢功能正常,能够完成太极拳练习和功能评定.研究对象基本情况统计表见表 1.

收稿日期:2015-10-30;**修回日期**:2016-03-20.

基金项目:河南省科技厅软科学项目(152400410456);新乡市重点科技攻关项目(ZG15008).

第 1 作者简介:王蕊(1980-),女,河南南阳人,河南师范大学讲师,主要从事大众健身理论与实践研究.

通信作者:李玉周(1976-),男,河南南阳人,河南师范大学副教授,博士,主要从事运动康复与大众健身研究,E-email:yuzhouli2003@163.com.

表 1　研究对象基本情况统计表

	对照组	实验组
年龄/年	55.2±6.2	57.3±6.5
身高/cm	162.1±6.1	159.7±6.9
体重/kg	61.7±8.5	59.5±7.9

注：实验组、对照组实验前比较：* 表示有显著性差异（$P<0.05$）；** 表示有非常显著性差异（$P<0.01$），下同.

1.2　研究方法

选择太极拳之乡焦作市 20 名无规律运动习惯的普通健康人为实验组（男 12 人，女 8 人），所有受试者均为焦作市太极拳协会自愿参加太极拳练习的初学者，实施 16 周 24 式简化太极拳练习（5～7 d/周，1～2 次/天，每次 45 min～1 h），每天早晨有太极拳协会专业教练进行练习指导，实验期间受试者禁止参加其他规律体育运动；选择无规律运动习惯的普通健康人 20 名为对照组（男 11 人，女 9 人）. 实验组和对照组受试者均保持以往的日常生活和饮食习惯，16 周前、后分别完成膝关节本体感觉、肌力和神经肌肉控制能力测试.

1.3　测试指标及方法

1.3.1　膝关节等长肌力测试及指标

利用便携式肌力测试系统（GT310）完成膝关节 30°和 60°等长肌力测定. 受试者座位，将测试下肢分别固定于 30°和 60°（测试前标定好），股四头肌持续发力 6～10 s，肌力测试仪显示并记录等长肌力测试结果.

1.3.2　膝关节本体感觉功能测试及指标

利用 X－SENS 三维本体感觉测试系统完成膝关节三维位置觉和运动觉测定[15,16].

1.3.3　下肢神经肌肉控制能力测定

1.3.3.1　闭眼单脚站立测试　受试者单脚站在平衡仪中心线上，双手叉腰，紧闭双目，另一只脚提起不能接触地面也不能停靠在支撑腿上. 当听到“开始”命令后，受试者尽量控制重心，保持平衡，记录受试者支撑脚移位或抬起脚接触地面的时间（S）.

1.3.3.2　闭眼走直线测试　在地面画一条 10 m 长的直线，受试者闭眼站在起始位（直线的一端），听到“走”的口令后，按照要求（沿直线前进）慢步向前走至 10 m 线终点的水平线，完成测试后测量受试者靠近 10 m线的足部（左侧或右侧）距离中线的距离.

1.4　数据处理和统计学分析

采用 SPSS18.0 对实验数据进行统计分析. 实验前采用独立样本 t 检验，验证分组均衡性；实验后采用实验前与实验后差值的配对样本 t 检验，验证实验效果. 显著性水平取 0.05，非常显著性水平取 0.01.

2　研究结果

2.1　16 周规律太极拳训练前、后下肢肌力的变化

由表 2 可见，16 周规律太极拳练习前后，实验组和对照组受试对象下肢肌力均有提高，实验组实验前、后双侧等长 60°肌力比较有显著性变化（$P<0.05$），结果表明 16 周规律太极拳练习能有效改变训练者的下肢肌力.

表 2　16 周规律太极拳训练前后下肢肌力的变化　　(Ib)

	实验前		实验后	
	对照组（$n=20$）	实验组（$n=20$）	对照组（$n=20$）	实验组（$n=20$）
左侧等长 30°肌力	51.46±16.33	51.44±10.7	52.34±15.30	52.71±9.8
左侧等长 60°肌力	59.71±16.1	58.90±12.5	60.44±14.59	65.85±13.1*
右侧等长 30°肌力	56.13±13.8	54.68±14.2	56.33±17.64	58.43±11.5
右侧等长 60°肌力	62.47±15.1	60.50±14.9	62.01±17.85	66.63±13.6*

注：各组实验前、后比较：* 表示有显著性差异（$P<0.05$）；** 表示有非常显著性差异（$P<0.01$），下同.

2.2　16 周规律太极拳训练前、后下肢本体感觉的变化

表 3 可见，16 周规律太极拳练习前后，实验组受试对象左、右膝关节运动觉有显著改善，对照组左右侧

实验前后均没有显著性变化($P>0.05$),结果表明 16 周规律太极拳练习能有效改变训练者下肢运动觉.

表 3 16 周规律太极拳训练前、后运动觉的变化比较 (°)

	实验前		实验后	
	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)
左侧运动觉	0.47±0.13	0.49±0.17	0.41±0.06	0.39±0.18*
右侧运动觉	0.46±0.16	0.48±0.15	0.40±0.17	0.40±0.09*

表 4 可见,16 周规律太极拳练习前后,实验组和对照组受试对象膝关节左右侧三维位置觉实验前后均没有显著性变化($P>0.05$),结果表明 16 周规律太极拳练习不能有效改变训练者膝关节三维位置觉.

表 4 16 周规律太极拳训练前、后三维本体感觉比较 (°)

	实验前		实验后	
	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)
左侧三维位置觉	4.32±1.31	4.50±1.39	4.34±1.37	4.27±1.28
右侧三维位置觉	4.24±0.99	4.19±1.15	4.22±1.13	3.96±0.97

2.3 16 周规律太极拳训练前、后下肢神经肌肉控制能力的变化

表 5 可见,16 周规律太极拳练习前后,实验组和对照组受试对象左右侧闭眼单腿站均有提高,但实验前后均没有显著性变化($P>0.05$),结果表明 16 周规律太极拳练习不能有效改变训练者闭眼单腿站时间.

表 5 16 周规律太极拳训练前、后闭眼单腿站时间比较 (S)

	实验前		实验后	
	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)
左闭眼单腿站	18.72±17.05	20.31±13.40	22.98±23.77	27.27±22.13
右闭眼单腿站	21.88±17.61	18.42±10.26	21.94±20.16	25.93±19.98

表 6 可见,16 周规律太极拳练习前后,实验组受试对象下肢闭眼走直线偏离中线距离实验前后比较均有显著性变化($P<0.05$),结果表明 16 周规律太极拳练习能有效改变训练者的闭眼走直线能力.

表 6 16 周规律太极拳训练前、后闭眼走直线偏离中线距离比较 (cm)

	实验前		实验后	
	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)	对照组($n=20$)	实验组($n=20$)
偏离中线长度	27.11±19.37	24.97±13.05	24.56±13.97	17.53±9.10*

3 讨 论

太极拳训练可促进和易化中枢神经与外周感觉机能,这些改善可能来自于肌力或本体感觉功能的变化,也可能两者兼而有之.

3.1 16 周规律太极拳训练对下肢肌力的影响

太极拳运动对下肢力量的改善具有明显的作用[17].肖春梅等[3]研究认为太极拳运动可使老年人的前庭、躯体感觉、肌肉力量等能力增强,从而延缓老年人平衡能力的下降.王红雨[4]、张彩芳[18]等研究发现太极拳运动能够增强老年人的下肢肌力.姚远[19]认为随着太极拳练习熟练程度的提高,肌肉收缩和舒张的交替转换功能也随之加强,神经系统的功能得以不断改善,原动肌、协同肌和对抗肌之间互相协调配合,发挥更大力量,16 周太极拳练习可显著提高老年人下肢肌肉力量和耐力.

表 2 可见,16 周规律太极拳练习组下肢等长 30°和 60°肌力改善更加明显,等长 60°肌力的改善实验组有显著差别.本研究认为等长肌力显著改善的原因如下:太极拳练习过程中,练习者无论采用何种架势,下肢始终保持屈膝状态下缓慢的位移,可增进全身各部位肌肉的力量和耐力,由于下肢承载了练习过程中练习者的体重负荷,股四头肌在整个训练过程中一直处于收缩状态,因此更好地增进了下肢肌肉的功能,提高了膝关节的稳定性;太极拳练习过程中,练习者的下肢反复完成向心或离心运动,可有效协调原动肌和调节拮抗肌的协同工作能力,并提高运动神经元的募集能力,使参加工作的运动单位尽可能多.通过运动时募集更多运动单位和增强下肢肌力的协调工作能力能够很好促进下肢肌力的提高.

3.2　16 周规律太极拳训练对下肢本体感觉的影响

本体感觉系统提供人体各环节的空间位置及肌紧张状态的信息，通过深感觉传导通路向上传递，本体感觉功能随年龄的增长逐渐下降，老年人易发跌倒，研究认为太极拳运动可以提高老年人的平衡控制能力[3-5,11]，但太极拳运动对本体感觉的影响研究较少. 要想更加明确太极运动对姿势控制的作用，探讨规律太极运动对机体本体感觉的影响显得非常必要. 有学者对 16 周太极拳练习(24 式太极拳，>4 次/周，>1h/次)效果进了了研究，通过本体感觉指标测定(关节位置觉 30°、45°和 60°)发现太极拳运动后关节位置觉 60°改善最明显，可能与太极运动项目特点相关. 文建生[12]用关节位置感测定方法对不同水平练习者进行了感觉测量和分析，实验证实，在运动过程中太极拳选手动作的准确性、稳定性强于一般练习者.

本研究发现，16 周规律太极拳练习后，运动组三维位置觉变化不显著，运动觉变化具有显著性. 三维关节位置觉通过膝关节的主动运动进行测评，对关节空间位置的判定主要来自于肌肉内本体感觉感受器传递的信息. 实验组左、右侧三维位置觉 16 周前后平均值均有减小趋势，对照组左侧三维位置觉有所增加，右侧有所下降，但 16 周的太极拳练习干预并没有检测到显著的三维位动作置觉功能改变. 运动觉通过测定被动运动感知阈值进行测评，测试角速度缓慢(0.5～2°/s)，能够最大限度地刺激关节感受器，最小化肌肉感受器的作用；对运动的感知能力主要来自于关节囊、韧带和皮肤的机械感受器. 本研究发现 16 周规律太极拳练习能显著提高患者双侧下肢运动觉功能. 通过 16 周规律太极拳练习，受试者运动觉有明显改善，随时间变化呈现加强趋势，而对照组运动觉变化不明显. 实验结束时，同实验前对比，规律太极拳练习者 16 周时左、右侧运动觉分别下降 20.4%和 17.6%，对照组 16 周时左、右侧运动觉分别下降 12.7%和 10.8%；因此规律太极拳练习对运动觉的提高作用显著.

根据肌肉内 Ruffini 感受器的生理机制，在较大压力状态下能形成更准确的位置觉，即刺激肌肉本体感觉时，一定负荷下的功能训练可能效果更好. 太极拳练习很好地利用了自身重力对关节的负荷作用，注重了适量负重训练原则. 屈曲状态下膝关节的缓慢移动，可以很好地刺激膝关节周围肌肉、关节囊、韧带等组织内的本体感觉感受器，将太极拳练习过程中膝关节位置、运动方向及关节内压力、肌肉紧张度等信息向中枢部位传导，通过对膝关节本体感受器的反复刺激，可增强感受器的敏感些.

膝关节运动觉功能的改变与太极拳练习特点有关，太极拳练习过程中，膝关节保持慢速、放松的曲线运动，可以更好地刺激膝关节关节囊等部位机械性感受器敏感性的提高，膝关节关节囊本体感受器敏感性的增加势必引起下肢运动觉功能的改变. 本研究发现规律太极拳练习后下肢等长 30°和 60°肌力有显著增长，但 16 周规律太极拳练习后三维位置觉的改变没有显著性差异，三维位置觉测试与肌梭内的本体感觉感受器有密切的关系，本研究测试过程中发现肌力的大小和本体感觉功能并不呈现正相关，肌力较高的人群，本体感觉并不表现出好于肌力较低人群，因此需要多久才能出现规律太极拳练习对三维位置觉影响的显著性差异，肌力和本体感觉功能变化间的相关关系仍需要进一步研究.

3.3　16 周规律太极拳训练对下肢神经肌肉控制能力的影响

从运动学角度看，太极拳的动作对低级反射与中枢有独特的影响. 练习太极拳时，上肢、躯干及下肢协调一致，膝关节长时间保持屈曲状态，需要有良好的支配和平衡能力. 平衡能力的维持主要依赖于视觉系统、本体感觉系统和前庭系统感觉信息的整合和中枢神经系统对运动系统的控制，感觉信息在包括脊髓、前庭核、内侧纵束、脑干网状结构、小脑及大脑皮层等多级平衡觉神经中枢中进行加工整合，精细调控肌肉、骨骼系统，以随时矫正身体的偏移，达到对人体平衡的稳定，调节精度越高动作的稳定性就越好.

本研究通过 16 周规律太极拳练习前、后闭眼单腿站时间和闭眼走直线偏离中线距离的变化，进一步探讨太极拳运动对下肢神经肌肉控制能力的影响. 结果发现：16 周规律太极拳未能显著改善练习者闭眼单腿站时间，但练习者闭眼走直线能力显著改善，本研究认为太极拳练习能够显著改善下肢神经肌肉控制能力. 原因如下：太极拳练习中常用的自然站立姿势和下肢弯曲姿势，股四头肌等主要肌肉多处于肌肉收缩的工作状态，肌肉频繁地收缩，产生了高频率的神经冲动，可以提高神经的敏锐性，对神经传导发挥积极性的作用.

从闭眼单脚站实验结果中我们看到太极拳练习组下肢稳定性明显增强，但与练习前相比无显著性差异. 但 16 周太极拳练习后练习者闭眼走直线偏离中线的距离明显减少，16 周前后比较有显著性改变. 分析其原因可能与太极拳的动作特点有关，王红雨[4]等研究认为太极拳运动可以提高老年人的平衡功能，加强了大脑

对躯体和四肢的协调能力;太极拳运动增强了脊柱、膝关节和踝关节的稳定性,下肢各关节的稳定性和下肢运动觉的提高促进了下肢神经肌肉控制能力的提高.姚远[19]认为太极拳练习中较多的双膝交替半蹲使身体重心处于一种动态的转移和连续不断的调节过程中,强化了平衡维持的神经机制.同时太极拳"以腰为轴",在脊柱的主导带动下,配合躯干的回旋缠绕运动.使肩肘、髋、膝、踝等关节充分活动,有利于启动平衡控制中的各种调节机制;刘静[20]研究发现 12 周太极拳练习能够改善膝关节稳定性和本体感觉,促进下肢神经肌肉控制能力的增强.

4 结 论

16 周规律太极拳练习能明显改善下肢肌力和本体感觉机能,显著改善下肢神经肌肉控制能力,但对平衡机能的影响不显著;16 周规律太极拳练习能够改善老年人下肢机能,可以很好地运用大众健身运动中,预防老年人跌倒损伤的发生.

参 考 文 献

[1] 虞定海,王三,杨慧馨,等.24 周太极拳锻炼对中老年人静态平衡功能的影响[J].中国运动医学杂志,2011,30(12):1115-1119.
[2] 朴美子,金昌龙.太极拳动作基本时空特征及其对平衡稳定性的作用[J].上海体育学院学报,2009,33(1):59-64.
[3] 肖春梅,王 彤,姜桂萍.太极拳运动对老年平衡能力的影响[J].北京体育大学学报,2006,29(4):489-491.
[4] 王红雨.24 式简化太极拳对老年人平衡功能的影响[J].中国老年学杂志,2013,13(33):3011-3013.
[5] 常书婉,周继和,洪友廉,等.长期太极拳练习对老年女性平衡能力的影响[J].成都体育学院学报,2014,40(4):42-47.
[6] 魏 勇,陈佩杰,等.6 个月太极拳锻炼前后中老年女性心肺机能相关指标变化[J].中国运动医学杂志,2007,26(5):604.
[7] 张河水,段丽梅.不同架势太极拳练习对老年男性心肺功能和运动能力影响的差异性[J].武汉体育学院学报,2013,47(10):49-53.
[8] 罗兴华,陈昆明,谭先明.二十四式太极拳对女性老年人健康的影响[J].广州体育学院学报,2008,28(3):68-71.
[9] 杨祥全.太极拳对普通大学生心理健康影响的实验研究[J].天津体育学院学报,2003,18(1):63-66.
[10] 熊国胜,贺鑫森.太极拳健心运动处方研究[J].体育文化导刊,2010(8):120-124.
[11] 阮 哲,熊开宇,陈自旺,等.太极拳运动对老年人下肢平衡力学因素的影响[J].北京体育大学学报,2008,31(4):498-500.
[12] 文建生.不同水平太极拳练习者运动感知特点研究[J].西安体育学院学报,2010,27(2):252-256.
[13] 陈香仙,吕慧青.太极拳运动对高血压患者血浆 NO 浓度及 RBC 膜钠、钙泵酶活性的影响[J].北京体育大学学报,2006,29(10):1629-1631.
[14] 王晓军,李艳君,刘宁宁,等.太极拳运动干预防治高血压病的实证研究[J].北京体育大学学报,2011,34(9):75-77.
[15] 李玉周,胡英琪,李国平.8 周常规康复训练和本体感觉加强训练对半月板术后患者膝关节本体感觉和肌力影响的比较[J].中国运动医学杂志,2012,31(11):962-966.
[16] 李玉周,王 蕊,胡英琪,等.8 周不同处方训练对半月板术后患者膝关节本体感觉和等张功率的影响[J].北京体育大学学报,2014,37(5):72-76.
[17] Wu G. Muscle action pattern and knee extensor strength of older Tai Chi exercisers[J]. Med Sport Sci,2008,52:30-39.
[18] 张彩芳.太极拳对老年人平衡能力的影响研究[D].北京:首都体育学院,2011.
[19] 姚 远,杨树东.太极拳锻炼对老年人下肢肌力影响的研究[J].中国运动医学杂志,2003, 22(1):75-77.
[20] 刘 静.王雪强,吕 志,等.太极拳运动对中老年人膝关节本体感觉的影响[J].中国康复医学杂志,2012,27(10):962-964.

Effect of 16-week Regular Tai Chi Exercise on Proprioception and Muscle Strength of Lower Limbs in the Elderly

WANG Rui, LI Yuzhou

(College of Physical Education, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Objective: to discuss the effect of regular Tai Chi exercise on lower limb function, so as to provide theoretical basis for preventing or delaying the decline of lower limb function in the elderly. Methods: 40 healthy subjects were randomly divided into experimental group(16 weeks of 24 forms simplified Tai Chi exercise) and control group(no regular exercise) to complete the proprioception, muscle strength and neuromuscular control test of lower limb before and after 16 weeks. Results: after comparing the results before and after the experiment, it is found that:(1)muscle strength of lower limbs in both groups

were increased, changes in the isometric strength 60° in Tai Chi exercise group were significant; (2) the kinesthesia of left and right knees was improved obviously in experimental group, but no significant change in control group, and there is no significant change in the 3D position sense of the left and right sides of knee joints in both groups before and after the experiment; (3) the time of standing on one leg with eyes closed has improved in both groups, but no significant change before and after the experiment; (4) the deviation of walking straight with eyes closed changed significantly, compared to that before the experiment, in experimental group. Conclusion: (1)16-week regular Tai Chi exercise can significantly improve the muscle strength and proprioception of lower limbs of the elderly; (2) 16-week regular Tai Chi exercise can improve the neuromuscular control ability of lower limb, but no obvious effect on balance function; (3) 16-week regular Tai Chi exercise can improve lower limb function in elderly people. It should be applied in mass fitness to prevent the occurrence of falls in the elderly.

Keywords: Tai Chi exercise; proprioception; muscle strength; neuromuscular control ability; balance ability

(上接第 171 页)

[10] Li X, Fu X, Balasubramaniam P, et al. Existence, uniqueness and stability analysis of recurrent neural networks with time delay in the leakage term under impulsive perturbations[J]. Nonlinear Analysis: Real World Applications, 2010, 11(5): 4092-4108.

[11] Li X, Cao J. Delay-dependent stability of neural networks of neutral type with time delay in the leakage term[J]. Nonlinearity, 2010, 23(7): 1709-1726.

[12] Wang Y, Zheng C D, Feng E. Stability analysis of mixed recurrent neural networks with time delay in the leakage term under impulsive perturbations[J]. Nonlinearity, 2013, 119: 454-461.

[13] Song Q, Cao J. Passivity of uncertain neural networks with both leakage delay and time-varying delay [J]. Nonlinear Dynamics, 2012, 67(2): 1695-1707.

[14] Fridman E, Shaked U. Delay-dependent stability and H_∞ control: constant and time-varying delays [J]. International Journal of Control, 2003, 76(1): 48-60.

[15] Han Q L. Absolute stability of time-delay systems with sector-bounded nonlinearity[J]. Automatica, 2005, 41(12): 2171-2176.

[16] Park P, Ko J W, Jeong C. Reciprocally convex approach to stability of systems with time-varying delays[J]. Automatica, 2011, 47(1): 235-238.

New Stability Criteria for Recurrent Neural Networks with Leakage Delay and Time-varying Interval Delay

WANG Juntao[1], ZHENG Qunzhen[2], SU Zhan[3], CHEN Yonggang[1]

(1. School of Mathematics Sciences, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;
2. School of Mathematics and Statistics, Henan Institute of Education, Zhengzhou 450046, China;
3. Shanghai Furen Medicine R & D Co. Ltd, Shanghai 200000, China)

Abstract: This paper considers the asymptotic stability problem for recurrent neural networks with leakage delay and time-varying interval transmission delay. Based on Lyapunov-Krasovskii (L-K) stability theory, Jensen inequality, and reciprocally convex approach approach, new asymptotic stability criteria are obtained in terms of linear matrix inequalities (LMIs). Compared with the existing approaches, this paper avoids using the neutral transformation, and utilizes the interconnected information between leakage delay and transmission delay sufficiently when constructing L-K functionals, thus the obtained criteria are less conservative. Numerical example verifies the effectiveness and less conservatism of the obtained results.

Keywords: recurrent neural network; leakage delay; time-varying delay; asymptotic stability