

· 综述 ·

膝关节手术术后关节源性肌肉抑制的原理及治疗*

孙文娟¹ 任玉香¹ 杨鑫² 杨力¹ 尤田^{1,*}

1.广东省深圳市北京大学深圳医院运动医学与康复医学科(广东深圳 518000)

2.长江大学医学部护理系(湖北荆州 434023)

【摘要】股四头肌肌力减弱、收缩障碍、伸膝障碍是膝关节术后常见的临床表现,这一现象被称为关节源性肌肉抑制(AMI)。AMI会导致肌力训练无效、肌肉萎缩、运动功能下降,甚至骨关节炎的发生。然而,关于AMI的原理和治疗国内关注和报道较少。本文通过对中国知网、万方、维普、Pubmed、CINAHL、EMBASE、Cochrane Library电子数据进行全面的检索,仅纳入同行评议文章,用描述性系统综述的方法简述膝关节术后股四头肌抑制的原理,总结目前国内国外股四头肌抑制的治疗方法,以期临床工作提供借鉴。

【关键词】膝关节手术;关节源性肌肉抑制;原理;治疗

【中图分类号】R473.6

【文献标识码】A

【基金项目】北京大学深圳医院科研项目基金(LCYJ2020003);广东省体育局科技创新和体育文化发展科研项目(GDSS2020N002);北京大学深圳医院科研项目(LCYJ2020005)

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2022.01.041

Mechanism and Treatment of Arthrogenic Muscle Inhibition after Knee Surgery: A Systematic Review*

SUN Wen-juan¹, REN Yu-xiang¹, YANG Xin², YANG Li¹, YOU Tian^{1,*}

1.Sports Medicine and Rehabilitation Medicine, Peking University Shenzhen Hospital, Shenzhen 518000, Guangdong Province, China.

2.Department of Nursing, Faculty of Medicine of Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei Province, China

Abstract: Quadriceps muscle atrophy, contraction disorder and knee extension deficit are common clinical manifestations after knee surgery, which is known as arthrogenic muscle inhibition (AMI). AMI can lead to ineffective muscle strength training, muscle atrophy, decreased motor activation, even osteoarthritis. However, the theory and treatment of AMI have not been understood or reported very well in China. Through comprehensive review of electronic data from CNKI, Wanfang, VIP, Pubmed, CINAHL, EMBASE and Cochrane Library, we aimed to explain the mechanism and possible treatments of AMI using a narrative systematic review, in which only peer-reviewed articles were included. This paper will summarize the current evidence of AMI world-widely, so as to provide some hints for clinical staff.

Keywords: Knee Surgery; Arthrogenic Muscle Inhibition; Mechanism

股四头肌肌力减弱、收缩障碍、伸膝障碍是膝关节创伤、手术后常见的临床表现,早在1965年,就有国外学者将这种神经反射抑制造成的股四头肌无力的现象归纳为关节源性肌肉抑制(arthrogenic muscle inhibition, AMI)^[1]。有研究报道,AMI在前交叉韧带损伤和重建术后发生率高达100%^[2]。AMI不仅发生在膝关节手术术后早期,也有可能持续到术后数年。对于膝关节手术术后早期患者,轻微的AMI不影响股四头肌发力,但会影响最大肌力^[3-5],而重度的AMI会导致力量训练完全不起作用^[6],从而进入训练无效-肌肉萎缩-训练更无效的恶性循环,严重影响康复进程。从长期来看,持续的股四头肌无力会导致膝关节不稳^[7]、运动功能障碍^[8]、生活质量下降、增加膝关节再受伤的风险,从而进一步导致膝关节骨性关节炎的发生和进展^[9]。由此可见,从源头上解决AMI具有极大的临床意义。因此,众多学者致力于探究AMI的发生机制,试图从根本上解除股四头肌抑制。AMI是一种突触前的、持续的神经反射抑制所导致的关节周围肌肉群的激活障碍,主要原因

是关节结构的损伤或关节腔内环境的改变,包括关节肿胀、炎症、疼痛、关节松弛和结构损害等^[6],关节传入神经兴奋性改变引起脊髓水平和脊髓上神经反射的变化,通过降低股四头肌运动神经元的兴奋性,导致股四头肌收缩障碍。治疗AMI的方法国外学者也进行了广泛探究,包括膝关节冷疗、康复锻炼、TENS(transcutaneous electrical nerve stimulation)、NMES(neuromuscular electrical stimulation)、腓绳肌疲劳训练、抽吸、振动等。然而,国内关于AMI的报道极少^[10]。本研究意在简述AMI发生机制,主要总结国外对于AMI的治疗方法,在引起临床工作重视的同时,为临床治疗提供借鉴。

1 AMI的主要关节内因素及脊髓神经反射通路

AMI是由于创伤关节内或周围的感受器异常放电引起的。膝关节的感受器主要分为两大类,一类是粗大的,有髓鞘传入神经(group II 传入神经),一类是细小的脱髓鞘传入神经(group III和IV)^[11]。Group II 终止于微粒神经末

【第一作者】孙文娟,女,主管护师,主要研究方向:骨科康复护理、护理临床研究。E-mail: 351519987@qq.com

【通讯作者】尤田,男,副主任医师,主要研究方向:骨科(运动医学)。E-mail: 17914@163.com

梢,它主要感受机械变化,例如压力和牵拉^[11-12]; Group III & IV 终止于自由神经末梢,它们的兴奋阈值更高,主要感受强机械刺激、温度和化学刺激(例如炎症因子)^[13-14]。现有研究表明,肿胀、炎症反应、关节松动和关节结构改变是最主要的AMI激发因素,它们通过激活不同的神经反射通路抑制股四头肌 α 运动神经元的兴奋性^[6](图1)。也有研究表明,为了避免膝关节受伤和免除膝关节疼痛,潜意识的自主效应调节可能会部分抑制股四头肌肌力^[15-16]。另外,关节创伤会使脑干抑制屈曲反射通路发生障碍,导致屈曲反射通路的兴奋性增高。以上神经反射的改变都将作用于股四头肌 α 运动神经元,使其兴奋性降低,使腓绳肌兴奋性增高,最终表现为腓绳肌兴奋收缩、股四头肌无力、膝关节屈曲、伸直受限。

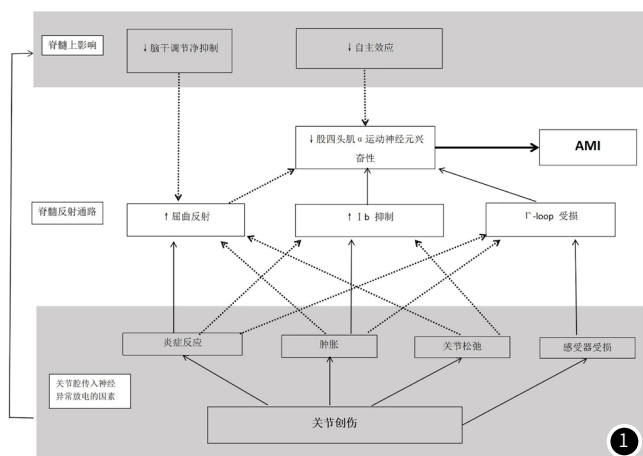


图1 AMI发生机制汇总图^[6](实线箭头代表较强的证据支持;虚线箭头代表较弱的证据支持)

2 AMI治疗方法

2.1 冷疗对股四头肌电活动和肌力的影响 冷冻疗法通过降低关节内异常放电对股四头肌的抑制,促进股四头肌运动神经元池兴奋性,对膝关节术后早期患者股四头肌肌电活动和肌力均有改善^[17]。Pietrosimone等^[18]评估20h的局部膝关节冷疗干预对健康志愿者四头肌中枢激活率(central activation ratio, CAR)的影响,结果表明在20min时,冷疗组的CAR显著高于对照组($P=0.003$)。此外,冷疗对提升膝关节术后早期患者的肌肉功能同样有效。Loro等^[19]将22名ACL术后10d内的患者随机分为冷疗和修饰安慰剂组(常温疗法),分别测量干预前后两组股四头肌功能,冷疗组患者的股内侧肌EMG(electromyography)提升38%,伸膝最大等长收缩力(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)提升30%,与非冷疗相比差异有统计学意义($P<0.05$)。Kuenze等^[20]采用病例对照研究的方法,对比膝关节术后AMI的患者和健康志愿者股四头肌和比目鱼肌功能,对两组患者实施同样的30min的康复锻炼方案,在所有受试者运动30min前后分别测量股四头肌和比目鱼肌肌肉功能指标,结果显示AMI患者的股四头肌MVIC($P=0.002$)、CAR($P=0.03$)和比目鱼肌V:M($P=0.03$)比值的下降幅度均

小于健康志愿者,这个有趣的研究结果提示运动能够帮助AMI患者维持肌肉功能。在冷疗后实施康复锻炼似乎可以取得更为显著的效果,Hart等^[21]将冷疗和康复锻炼相结合,在前交叉韧带重建术后6个月仍有AMI的患者同时使用两者,结果发现,在应用冷冻疗法后立即进行康复锻炼有更高的MVIC值($P=0.002$,Cohen d effect size=1.4)相比单纯冷疗($P=0.16$,Cohen d effect size=0.58)和单纯功能锻炼($P=0.16$,Cohen d effect size=0.58)。

总之,冷疗在临床的应用十分普遍,与康复锻炼联合使用效果更好,但以上研究中所提到的膝关节冷疗均为环绕全膝关节的冰袋,而非仅对膝关节的前方或后方实施冷疗。另外,不同文章纳入患者的术后时间点不同,临床在选择康复锻炼方法时需结合患者不同恢复时期的具体情况。

2.2 TENS对股四头肌兴奋性的作用 TENS可能是通过提高股四头肌 α 运动神经元的募集能力,提高股四头肌肌肉兴奋性来治疗AMI,即使在 γ 环受损时,TENS依然可以发挥作用^[22]。Konishi等^[22]招募了12个年轻健康男性,通过震动髌下韧带制造AMI模型,然后将患者随机分成非TENS和TENS组,记录实施震动前、给予干预措施后的股四头肌最大自主力矩和EMG,来观察TENS对AMI的治疗效果,结果发现,非TENS组实施震动前后股四头肌峰力矩下降了16%,而TENS组只下降了4%($P<0.05$,效应值为0.76);关于EMG参数,相比非TENS组,TENS也能大大降低震动对股内侧肌(VM)和股外侧肌(VL)的抑制作用($P<0.05$,VM效应值为0.69,VL效应值为0.57),但是两组股直肌的EMG变化并不明显。有多个研究表明,应用高频TENS可以显著提高股四头肌次强收缩兴奋性,防止股四头肌H-reflex振幅下降^[17-23]。Hart等^[21]将TENS与力量训练相结合应用于ACL术后患者,一组在力量锻炼前给予20min冰敷,另一组在力量锻炼的同时给与膝关节周围TENS治疗,在开始2周的治疗方案前、第一次治疗后和最后一次治疗后24h内记录MVIC和CAR值,2周治疗之后,组间比较无统计学差异,但是两组组内比较MVIC和CAR均提升明显(效应值范围在0.9~1.5),尤其是力量锻炼联合TENS组效应值均大于1,并且95%置信区间未跨越0^[24]。以上证据表明TENS能够在短期内有效缓解ACL术后AMI,提高股四头肌功能尤其是MVIC和CAR值,但是长期作用尚值得探索。

2.3 NMES康复方案对股四头肌肌力的影响 NMES的主要原理是直接刺激肌肉活动,解除受抑制的股四头肌运动神经池,从而促进股四头肌收缩,减轻肌肉萎缩^[25]。一项纳入11项ACL重建术后临床随机对照试验的荟萃分析显示,标准治疗联合NMES,能够显著提高患者术后4~12周的股四头肌肌力[SMD=0.73,95%CI(0.29~1.16)],并且患者运动功能相对于单纯标准治疗组也提高了将近40%(PEDro分数从3/10到7/10)^[26]。另外,应用NMES加强股四头肌肌力训练,同样可以提高患者步行速度,提高患者爬楼梯实验的表现和坐-站测试结果^[27]。Bax等^[28]将NMES与自主训练相结合,发现联合使用比单独使用自主训练方

案有更好的效果,其中在自主训练中加入等长收缩训练也被认为是一种有效的方法^[10],膝关节稍屈曲20°~30°比完全伸直条件下效果更好^[29-30],原因是研究表明膝关节在屈膝20°~30°时,膝关节内压力最小,对股四头肌的抑制作用最小^[31]。然而,也有学者用NMES方案,得到相反的结果,Palmieri-Smith^[32]等的一项临床研究发现,应用NMES 5周后,患者得到弱负性效应值(-0.25, 95%CI=-0.94、0.45);16周后,NMES组患者负性效应值继续增大(-0.50, 95%CI=-1.19、0.22),说明NMES不利于股四头肌肌力恢复。关于如何使NMES效果最大化,也有多个研究提到了NMES的使用技巧,NMES的效果似乎跟强度成正比相关,在可耐受范围内或舒适的前提下给予患者最大强度的股四头肌刺激,可能可以取得更好的效果^[26]。然而,以上文章的证据等级不高,NMES的有效性需高质量的临床随机对照试验来进一步证实。

2.4 腓绳肌疲劳训练在解除AMI中的应用 屈曲反射是AMI的重要机制之一,屈曲反射的原理是屈膝肌群(腓绳肌)兴奋和伸膝肌群(股四头肌)抑制,导致膝关节发生屈曲动作^[33]。如果可以使腓绳肌的兴奋性减弱,那么股四头肌的抑制或许将被解除,肌肉疲劳训练从原理上来讲就是一种可以使腓绳肌兴奋性降低的方法^[34]。Delaloye等^[35]报道了一种通过腓绳肌疲劳锻炼迅速解除膝关节伸直受限的方法,仅需要10min左右,AMI导致的膝关节屈曲就能消失。根据Delaloye所描述的方法:首先,让患者行俯卧位,健侧伸直,患肢屈曲30°~40°;然后,腓绳肌行最大力收缩,此时治疗师将手放在患者足跟处给患者抗阻训练,坚持2~3s,然后充分放松,重复此动作,一般10min内,患者可实现膝关节伸直;最后也是非常重要的一步,就是进一步让患者实现主动伸膝锻炼,使康复锻炼效果得以巩固^[35]。同样Lowe等^[36]发现腓绳肌疲劳训练后(M=96%, SD=7.6%)相比腓绳肌疲劳训练之前(M=81.2%, SD=15.8%),ACL重建患者在腓绳肌疲劳训练前后CAR值有显著提升(P=0.01),而对照组在训练前后并没有差异(训练前:M=97.0%, SD=17.1%;训练后:M=96.9%, SD=9.6%)。腓绳肌疲劳训练出现较晚,证据较少,但是实施简单、无创且不需要工具,似乎是一种值得进一步探究与临床推广的技术。

2.5 基于AMI发生机制的其他治疗方法 除了以上方法,还有很多解除AMI的方法被世界各地学者广为探究,例如膝关节抽吸、关节内注射激素、非甾体抗炎药物、局麻、经颅磁刺激和震动等^[6]。其中,膝关节积液抽吸被认为可以直接改善膝关节肿胀,从根本上解除AMI,然而这种方法似乎对骨关节炎的患者效果不佳^[6],也有增加关节腔内感染的可能。对比本文前面提到的冷疗、康复锻炼、TENS、NMES、腓绳肌疲劳训练,膝关节抽吸等方法或因为有创,不容易被患者接受且风险较高;或因为证据较少存在较大争议,因此临床应用较少。作为临床工作者,在面对治疗方法的选择时,除了考虑证据的有效性,同时也会考虑对

患者造成的伤害和实施的可行性、简易性,这也可以解释某些AMI治疗方法发展缓慢的原因。

3 结论与展望

膝关节术后普遍存在股四头肌关节源性抑制,往往持续数月甚至数年之久。股四头肌抑制会使肌肉萎缩,肌力训练无效,长此以往会导致患者步态异常,运动表现下降,更会进一步导致骨关节炎的发生与发展。AMI的原因很多,膝关节肿胀、炎症、疼痛、关节松弛、结构受损是关节腔内环境中最主要的激发因素,以上变化会刺激膝关节感受器,导致传入神经持续兴奋,通过脊髓反射通路和脊髓上的改变,持续抑制股四头肌 α 运动神经元的兴奋性,从而造成AMI,然而,中枢神经对AMI的作用机制远没有被探究清楚。关于AMI的治疗方法繁多,其中冷疗、TENS、NEMS、康复锻炼是大多数学者公认的有效治疗方法,但未来仍需要高质量的随机对照临床试验来证实。最后,西方国家探究AMI已经有60多年的历史,相比而言,我国临床上对AMI的认知仍有待提高,我国学者可根据现有证据探究AMI在中国人群中的发生机制和治疗。

参考文献

- [1] DEANDRADE J R, Grant C, Dixon A S J. Joint distension and reflex muscle inhibition in the knee[J]. JBJS, 1965, 47 (2): 313-322.
- [2] Hart J M, Pietrosimone B, Hertel J, et al. Quadriceps activation following knee injuries: A systematic review[J]. J Athl Train, 2010, 45 (1): 87-97.
- [3] Hurley M V, Jones D W, Wilson D, et al. Rehabilitation of quadriceps inhibited due to isolated rupture of the anterior cruciate ligament[J]. J Orthop Rheumatol, 1992, 5 (3): 145-154.
- [4] Hurley M V, Newham D J. The influence of arthrogenous muscle inhibition on quadriceps rehabilitation of patients with early, unilateral osteoarthritic knees[J]. Rheumatology, 1993, 32 (2): 127-131.
- [5] Bearne L M, Scott D L, Hurley M V. Exercise can reverse quadriceps sensorimotor dysfunction that is associated with rheumatoid arthritis without exacerbating disease activity[J]. Rheumatology, 2002, 41 (2): 157-166.
- [6] Rice D A, McNair P J. Quadriceps arthrogenous muscle inhibition: Neural mechanisms and treatment perspectives[C]//Seminars in arthritis and rheumatism. WB Saunders, 2010, 40 (3): 250-266.
- [7] Felson D T, Niu J, McClennan C, et al. Knee buckling: Prevalence, risk factors, and associated limitations in function[J]. Ann Intern Med, 2007, 147 (8): 534-540.
- [8] Yoshida Y, Mizner R L, Ramsey D K, et al. Examining outcomes from total knee arthroplasty and the relationship between quadriceps strength and knee function over time[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2008, 23 (3): 320-328.
- [9] Brandt K D, Dieppe P, Radin E L. Etiopathogenesis of osteoarthritis[J]. Rheum Dis Clin North Am, 2008, 34 (3): 531-559.
- [10] 李放, 沈丽英. 等长收缩可以减轻关节源性肌肉抑制[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19 (2): 127-128.
- [11] Grigg P. Properties of sensory neurons innervating synovial joints[J]. Cells Tissues Organs, 2001, 169 (3): 218-225.
- [12] Halata Z, Rettig T, Schulze W. The ultrastructure of sensory nerve endings in the human knee joint capsule[J]. Anatomy Embryol (Berl), 1985, 172 (3): 265-275.
- [13] Grigg P, Schaible H G, Schmidt R F. Mechanical sensitivity of group III and IV afferents from posterior articular

- nerve in normal and inflamed cat knee[J]. *J Neurophysiol*, 1986, 55(4): 635-643.
- [14] Schaible H G, Schmidt R F. Activation of groups III and IV sensory units in medial articular nerve by local mechanical stimulation of knee joint[J]. *J Neurophysiol*, 1983, 49(1): 35-44.
- [15] Young A. Current issues in arthrogenous inhibition[J]. *Ann Rheum Dis*, 1993, 52(11): 829-834.
- [16] Engelhardt M, Reuter I, Freiwald J. Alterations of the neuromuscular system after knee injury[J]. *European Journal of Sports Traumatology and related research*, 2001, 23(2): 75-81.
- [17] Hopkins J T, Ingersoll C D, Edwards J, et al. Cryotherapy and transcutaneous electric neuromuscular stimulation decrease arthrogenic muscle inhibition of the vastus medialis after knee joint effusion[J]. *J Athl Train*, 2002, 37(1): 25.
- [18] Pietrosimone B G, Ingersoll C D. Focal knee joint cooling increases the quadriceps central activation ratio[J]. *J Sports Sci*, 2009, 27(8): 873-879.
- [19] Loro W A, Thelen M D, Rosenthal M D, et al. The effects of cryotherapy on quadriceps electromyographic activity and isometric strength in patient in the early phases following knee surgery[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2019, 27(1): 2309499019831454.
- [20] Kuenze C, Hertel J, Hart J M. Effects of exercise on lower extremity muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Sport Rehabil*, 2013, 22(1): 33-40.
- [21] Hart J M, Kuenze C M, Diduch D R, et al. Quadriceps muscle function after rehabilitation with cryotherapy in patients with anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Athl Train*, 2014, 49(6): 733-739.
- [22] Konishi Y, McNair P J, Rice D A. TENS Alleviates muscle weakness attributable to attenuation of Ia afferents[J]. *Int J Sports Med*, 2017, 38(3): 253-257.
- [23] Pietrosimone B G, Hart J M, Saliba S A, et al. Immediate effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and focal knee joint cooling on quadriceps activation[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2009, 41(6): 1175-1181.
- [24] Hart J M, Kuenze C M, Pietrosimone B G, et al. Quadriceps function in anterior cruciate ligament-deficient knees exercising with transcutaneous electrical nerve stimulation and cryotherapy: A randomized controlled study[J]. *Clin Rehabil*, 2012, 26(11): 974-981.
- [25] Palmieri-Smith R M, Thomas A C, Wojtys E M. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction[J]. *Clin Sports Med*, 2008, 27(3): 405-424.
- [26] Hauger A V, Reiman M P, Bjordal J M, et al. Neuromuscular electrical stimulation is effective in strengthening the quadriceps muscle after anterior cruciate ligament surgery[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26(2): 399-410.
- [27] Burgess L C, Swain I D, Taylor P, et al. Strengthening quadriceps muscles with neuromuscular electrical stimulation following total hip replacement: A review[J]. *Curr Phys Med Rehabil Rep*, 2019, 7(3): 275-283.
- [28] Bax L, Staes F, Verhagen A. Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? [J]. *Sports Health*, 2005, 35(3): 191-212.
- [29] Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey S L, et al. Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation[J]. *JBJS*, 1995, 77(8): 1166-1173.
- [30] Fitzgerald G K, Piva S R, Irrgang J J. A modified neuromuscular electrical stimulation protocol for quadriceps strength training following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003, 33(9): 492-501.
- [31] Baumgart C, Welling W, Hoppe M W, et al. Angle-specific analysis of isokinetic quadriceps and hamstring torques and ratios in patients after ACL-reconstruction[J]. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 2018, 10(1): 1-8.
- [32] Palmieri-Smith R M, Thomas A C, Karvonen-Gutierrez C, et al. A clinical trial of neuromuscular electrical stimulation in improving quadriceps muscle strength and activation among women with mild and moderate osteoarthritis[J]. *Phys Ther*, 2010, 90(10): 1441-1452.
- [33] Snyder-Mackler L, Binder-MacLeod S A, Williams P R. Fatigability of human quadriceps femoris muscle following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1993, 25(7): 783-789.
- [34] Solomonow M, Baratta R, D'ambrosia R. The role of the hamstrings in the rehabilitation of the anterior cruciate ligament-deficient knee in athletes[J]. *Sports Med*, 1989, 7(1): 42-48.
- [35] Delaloye J R, Murar J, Sánchez M G, et al. How to rapidly abolish knee extension deficit after injury or surgery: A practice-changing video pearl from the scientific anterior cruciate ligament network international (SANTI) study group[J]. *Arthrosc Tech*, 2018, 7(6): e601-e605.
- [36] Lowe T, Dong X N. The use of hamstring fatigue to reduce quadriceps inhibition after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Percept Mot Skills*, 2018, 125(1): 81-92.

(收稿日期: 2021-09-19)