

·综述·

神经电生理检测技术在盆底功能障碍评定中的应用进展

龚媛媛¹ 王红星^{1,2}

盆底功能障碍(pelvic floor dysfunction, PFD)主要包括压力性尿失禁(stress urinary incontinence, SUI)、盆腔器官脱垂(pelvic organ prolapse, POP)、大便失禁、便秘、性功能障碍、下尿路感觉异常和慢性盆腔痛等系列疾病^[1]。多项研究显示此类疾病的发生发展与盆底神经肌肉损伤有关。神经病变如脊髓损伤、马尾综合征、周围神经病变;系统性疾病如帕金森综合征、多系统萎缩;阴道分娩、高龄等均可引起PFD。目前,PFD的诊断主要依靠盆底超声、MRI、盆底肌电等技术。其中,盆底电生理变化与PFD相关,并且PFD在出现临床症状之前,盆底电生理功能可能已经发生变化^[2]。因此盆底神经电生理的评定对于PFD的早期诊断、鉴别诊断、治疗和预后判断均有重要意义。

神经电生理检测技术包括:①同心圆针肌电图;②单纤维肌电图;③表面肌电图;④神经传导速度检测;⑤体感诱发电位;⑥延迟反应(如F波)和反射活动(H反射、骶反射等)。

1 表面肌电图

表面肌电图(surface electromyography, sEMG)是肌肉收缩时经表面电极和放大器记录所获得的肌电信号。对其肌电幅度和速率进行时域和频域的定量分析,可在一定程度上反映神经肌肉功能活动。主要评价指标包括:平均肌电值(AEMG)、积分肌电值(IEMG)、均方根值(RMS)、中位频率(median frequency, MF)、平均功率频率(mean power frequency, MPF)和变异系数等,可反映肌肉兴奋时运动单位激活数量、运动单位类型及同步化程度、肌肉收缩力量、疲劳度和快慢肌协调性与稳定性等。

Grape等^[3]认为盆底肌sEMG是早期检测PFD的可靠方法,主要通过阴道或直肠内电极实现。Aukee等^[4]证明sEMG肌电值与盆底肌的受损程度呈负相关。Jantos^[5]发现慢性盆腔痛患者sEMG(Glazer评估)显示盆底肌的收缩波幅显著降低,肌肉静息状态测试的基线和变异系数明显升高,提示盆底肌稳定性下降,存在过度活动、快慢肌收缩受限及肌肉损伤。此外,研究还证实sEMG静息振幅与慢性盆腔痛的疼痛持续时间呈负相关,但与疾病严重程度无关。Nowa-

kowski等^[6]对49例大便失禁患者的研究证明sEMG诊断大便失禁的敏感度和特异性分别达到96%和98%。一项研究对产后SUI、POP及对照组盆底表面肌电分析发现,对照组肌电图持续收缩值和快速收缩值均显著高于研究组,且SUI组的快速收缩值显著低于POP组,POP组的持续收缩值显著低于SUI组^[7]。提示产后PFD与盆底肌收缩力下降有关,其中POP可能与I类肌纤维受损有关,而SUI可能与II类肌纤维受损有关。此外,Madill SJ等^[8]发现SUI患者经过3个月盆底康复训练后,sEMG快速收缩平均波幅增加,募集时间缩短。提示SUI症状可能与II类肌纤维反应速度下降有关。此外,表面肌电还可用于分析左右括约肌的活性,对初产妇会阴切开方式的选择具有指导意义,从而减少分娩后括约肌神经支配的损伤^[9]。国内有学者研究证明POP患者盆底重建手术后盆底肌最大收缩肌电值和收缩持续时间均较术前明显提高,提示重建手术可提高盆底肌力^[10]。sEMG作为评估肌肉功能的主要方式,可动态反映肌肉的肌电变化情况。能够协助诊断异常的盆底肌肉活动引起的PFD,是早期检测肌肉松弛性疾病的有效手段,其主要优点是操作简单、客观、非侵入性,同时也可用于保守治疗。

除了以上所述的常规表面肌电,一种新型的高密度矩阵表面肌电电极除了能获取肌肉活动的时域信息外,还可获取肌电信号的空间信息,从而可提高肌电信号定量分析的准确度。相较于传统的双电极结构,使用阵列式电极能够更好的反映面积较小肌肉的收缩情况,以及评估肌肉激活区域的肌力,对评估盆底肌的神经肌肉功能有着更好的精确度^[11]。国外一项研究中使用了一种高密度阴道内和直肠内电极探头,采集了10例健康受试女性在进行盆底最大自主收缩时的表面肌电信号,采用信号处理技术实现对分离不同运动单位动作电位(motor unit action potential, MUAP)的肌电信号,以获得MUAP的神经支配区域,从而可了解盆底肌和肛门括约肌等不同肌群的运动模式^[12]。高密度矩阵表面肌电可应用于检测PFD患者盆底肌的活动状况,分析肌肉不同区域的发力模式,从而能够制定更为合理的个体化康复治疗方案。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.04.020

1 南京医科大学第一附属医院,南京,210000; 2 通讯作者

第一作者简介:龚媛媛,女,硕士研究生; 收稿日期:2019-10-10

2 同心圆针肌电图

同心圆针肌电图检查是将同心圆针电极插入肌肉中以评估肌肉静息状态、随意收缩下肌电活动的一种技术。盆底肌同心圆针肌电图对PFD诊断和鉴别诊断主要通过肛门括约肌(external anal sphincter, EAS)、尿道括约肌(urethral sphincter, US)进行评估,评价指标包括插入电位、自发电位、运动单位动作电位和募集电位。

MUAP分析是目前评估盆底神经肌肉损伤的一种快速、客观的测量方法。Gregory WT等^[13]采用定量EAS-EMG分析发现无症状妇女MUAP各项参数包括时限、波幅、面积、多相波百分率均较未生育妇女组升高,提示阴道分娩会导致隐匿性神经损伤。与正常对照组相比,SUI患者盆底肌不仅MUP时限延长、波幅升高、多相波百分率增高,且大力收缩时募集电位平均波幅降低,都提示SUI患者肛门括约肌存在病变,从而对SUI患者的早期诊断及治疗疗效评估提供理论依据^[14]。Weidner AC等^[15]通过对肛门括约肌MUAP的干扰型(IP)分析时发现,POP患者每秒转折数较正常人减少,提示存在神经源性的损伤。尿潴留患者行US-EMG检查可出现复杂重复放电。便秘患者与健康对照组的EAS-EMG对比发现^[13],便秘患者静息时EMG活性往往低于排便时,而正常人EAS-EMG活性在静息时往往高于排便时。此外,EMG也有助于PFD的病因诊断。二便失禁、性功能障碍是多系统萎缩(multiple system atrophy, MSA)和帕金森病(Parkinson disease, PD)的常见并发症。研究表明,MSA存在骶髓Onuf核的选择性受损,EAS-EMG检查可表现出MUAP的波幅增宽、时限延长和多相波百分比增多,自发电位或卫星电位等神经源性损害特征^[16]。而PD患者由于Onuf核不受累,EAS-EMG多表现正常。有学者认为,PD患者EAS-EMG平均时限与病程具有相关性,EAS-EMG可用于MSA和PD(病程≤5年)早期的鉴别诊断^[17]。脊髓损伤、马尾损伤也是造成PFD的重要原因,EAS-EMG通常表现为异常的慢性失神经-神经再支配,包括自发电位、宽大MUAP以及募集电位减少或缺失^[18]。

同心圆针肌电图是对肌纤维的结构和组成成分变化进行定性诊断,研究的是运动单位的整合性,通过对运动单位的分析可精准了解属于神经源性损害还是肌源性损害,对于PFD的诊断和病因诊断具有较大价值。但同sEMG相比,其作为一种有创性检查,患者接受程度较差。

3 单纤维肌电图

单纤维肌电图(single fiber EMG, SFEMG)可选择性地记录单个肌纤维的动作电位。对于检测神经肌肉接头的传导功能具有最高的灵敏度。评价指标包括:①颤抖(jitter),能客观反映单个神经肌肉接头的传导功能,通常用平均连续

波间期差(MCD)来表示,MCD增大表示肌纤维和神经细支冲动传导阻滞;②纤维密度(fiber density, FD),表示同一运动单位内肌纤维的密度。FD的异常增加提示肌纤维的失神经支配。临床研究表明SFEMG作为常规EMG的补充,能够证实神经肌肉疾病运动单位的结构和生理上的变化,反映盆底肌的功能状态和神经支配情况,可协助PFD的诊断。

Anderson等^[19]在研究中发现SUI患者肛门括约肌平均FD高于对照组,Weidner AC等^[20]也发现,女性SUI患者的肛门括约肌FD明显增高,提示SUI患者盆底肌存在去神经支配。Smith等^[21]也证实女性SUI(伴或不伴POP)患者肛门括约肌SFEMG均有肛门括约肌和盆底肌部分失神经支配的特征。

4 神经传导速度检测

神经传导速度检测可用来评价盆底神经传导通路的完整性。在PFD中,研究最多的是阴部神经。阴部神经作为支配盆底肌最重要的运动神经,是唯一可用于检测其运动传导速度的神经,评价指标为末端运动潜伏期(PNTML),是指从刺激阴部神经到肛门括约肌或尿道括约肌出现复合肌肉动作电位的时间间隔,刺激位置在直肠内刺激或阴道内进行。

PNTML延长可视为阴部神经损伤的证据。Zhu等^[22]发现SUI患者PTNML较正常尿控组明显延长,提示阴部神经分支可能存在神经脱髓鞘损伤。Bakas等^[23]发现SUI患者(伴或不伴POP)PNTML显著延长,而POP组PNTML与对照组无明显差异,这种阴部神经分支差异性损伤提示失神经损伤部位可能在远端,也可发生在肌肉或神经肌肉接头处。此外,目前尚无文献证明PNTML延长与脱垂程度分级存在相关性。大便失禁通常被认为与括约肌撕裂或阴部神经损伤有关。研究发现,大便失禁者也可出现PNTML延长,但与症状严重程度无明显相关性^[24]。而Rasmussen等^[25]对178例大便失禁的中老年女性患者的研究发现,临界值为2.4ms时,79%患者两侧PNTML均正常;临界值为2.2ms时,66%患者两侧PNTML均正常,这提示特发性大便失禁很可能是由年龄增加引起的盆底肌肉功能减弱所致,只有少数人可能有盆底神经损伤。此外,单侧PNTML延长可能无临床意义。美国胃肠病协会最近一份声明中认为PNTML不能用于评估大便失禁。尽管如此,PNTML仍然被认为是唯一可用于评估肛门括约肌躯体神经支配情况的耐受性检查。Lee等^[26]发现初产妇和经产妇阴道分娩后均出现PNTML明显延长,提示阴道分娩可导致阴部神经和盆底括约肌损伤。这与Snooks等^[27]研究结果相符。尽管如此,但目前并没有证据直接证明这种PNTML延长与阴道分娩本身有关。此外,Gregory WT等^[13]认为只有当阴部神经损害达到一定程度时,才会出现PNTML延长。总之,PNTML检测虽不能反映疾病的

进展过程,且有些人认为其对PFD诊断的特异性和敏感性不够高,但它可以检测阴部神经的运动传导功能,从而为PFD诊断和预后判断提供客观的参考指标。

5 体感诱发电位

阴部神经体感诱发电位(pudendal nerve somatosensory-evoked potential, SSEP)是刺激阴茎或阴蒂背神经至大脑感觉皮质,通过表面电极在头皮记录电位,评估阴部神经、S2—S4神经根、骶脊髓和脊髓后角感觉传入通路完整性。评价指标包括潜伏期和波幅。SSEP可用于检测性功能障碍或膀胱功能障碍,对于PFD诊断及预后有较高应用价值。

阴部神经完整性对于性功能维持起到重要作用^[28]。研究认为SSEP能评估背神经受累程度,判断神经损伤严重程度^[29]。如Schmid等^[30]对32例性功能障碍男性脊髓损伤患者研究发现,有16例患者SSEP完全缺失,提示感觉传导通路损伤,表明SSEP可作为评估躯体感觉性骶脊髓传导功能的参考指标。但仅依据SSEP潜伏期并不能反映神经源性性功能障碍的损害程度。MSA患者也可有阴部神经或骶脊髓损伤^[31]。Pellegrinet等^[31]发现,13例MSA患者中69.2%两侧SSEP的N1潜伏期延长。提示可能有Onuf核以外其他病变部位的存在,这对MSA患者神经病变定位诊断具有一定的帮助。膀胱功能障碍是急性脊髓损伤最重要的并发症之一,Curt等^[32]在对脊髓损伤患者研究中发现SSEP P40潜伏期与1个月后膀胱功能恢复程度(尿道外括约肌功能)呈负相关,故SSEP可作为评估急性脊髓损伤后膀胱功能预后的电生理指标。此外,Malaguti等^[33]发现尿潴留患者经骶神经调节治疗后SSEP P40潜伏期明显缩短,从而对其治疗效果进行预后判定。但也有人是在对SUI患者的评估中并没有发现SSEP潜伏期的改变,认为SSEP不适用于SUI的诊断^[34]。总之,虽然SSEP对于感觉传导通路的评估还有很大的局限性,但其仍可作为盆底神经损伤的证据之一,从而指导PFD的康复治疗。

6 骶反射

骶反射是指刺激骶神经支配区,引起会阴和盆底肌的收缩反应,可用来评估骶段(S2—S4)及其相应的传入和传出神经通路的完整性。主要包括球海绵体肌反射(Bulbocavernosus reflex, BCR)、肛门反射、会阴—肛门反射和膀胱肛门反射。常采用表面电极刺激背神经、针电极或表面电极在肛门外括约肌或球海绵体肌记录电活动。评价指标包括骶反射潜伏期和波幅。当骶反射弧任一部位损害时,反射都可能延迟或消失。

骶反射对PFD诊断具有较高的敏感性、特异性和阳性预测价值^[35]。研究发现^[34],SUI患者肛门反射潜伏期较对照组延长,说明SUI患者存在骶神经传导通路损伤。Lee DG

等^[36]对一组尿潴留患者的研究发现,经过治疗后能诱发正常BCR患者的膀胱功能恢复良好,而BCR缺失患者的膀胱功能则恢复较差,结果表明BCR在膀胱功能障碍预后判断方面具有重要的参考价值。Tas等^[37]发现性功能障碍与BCR消失密切相关,且BCR还可判断脊髓损伤患者性功能损伤程度。此外,BCR还有助于MSA和PD鉴别诊断。Cai等^[38]研究证明MSA和PD组BCR的波幅均显著低于健康对照组,而MSA组BCR潜伏期较早期出现PFD的PD组明显延长,提示MSA的阴部神经损伤较PD严重,BCR潜伏期的延长可能有助于区分早期的MSA和PD。总之,骶反射可作为马尾神经或下运动神经元损伤所继发的PFD的诊断及功能预后判断的补充。

7 小结

神经电生理技术的迅速发展为PFD的诊断、预防、病情动态观察及发病机制的研究提供了客观评价手段,可明确了解盆底神经肌肉的异常变化,促进对PFD疾病的认识和研究。未来应在传统的盆底神经电生理技术的基础上,不断加强对新技术的研究,以便更深入且更广泛的应用于相关疾病的临床研究中。

参考文献

- [1] Sung VW, Hampton BS. Epidemiology of pelvic floor dysfunction[J]. Obstet Gynecol Clin North Am, 2009, 36(3): 421—443.
- [2] Bianchi F, Osio M, Squintani GM. Retest reliability of surface electromyography on the pelvic floor muscles[J]. Neurourol Urodyn, 2017, 22(4): 173—193.
- [3] Grape HH, Dederling A, Jonasson AF. Retest reliability of surface electromyography on the pelvic floor muscles[J]. Neurourol Urodyn, 2009, 28(5): 395—399.
- [4] Aukee P, Penttinen J, Airaksinen O. The effect of aging on the electromyographic activity of pelvic floor muscles. A comparative study among stress incontinent patients and asymptomatic women[J]. Maturitas, 2003, 44(4): 253—257.
- [5] Jantos M, Johns S. Clitorodinia: causes, comorbidities and pain mechanisms[J]. Appl Psychophysiol Biofeedback, 2013, 17(6s): e85—e115.
- [6] Nowakowski M, Tomaszewski KA, Machura L, et al. Sensitivity and specificity of multichannel surface electromyography in diagnosing fecal incontinence[J]. Folia Med Cracov, 2017, 57(1): 29—38.
- [7] 张珂, 王澜静, 焦玲洁, 等. 盆底功能障碍性疾病的诊断研究进展[J]. 实用妇产科学杂志, 2014, 30(10): 757—759.
- [8] Madill SJ, Pontbriand-Drolet S, Tang A, et al. Effects of PFM rehabilitation on PFM function and morphology in older women[J]. Neurourol Urodyn, 2013, 32(8): 1086—1095.
- [9] Začesta V, Rezeberga D, Plaudis H, et al. Could the correct side of mediolateral episiotomy be determined accord-

- ing to anal sphincter EMG?[J]. *Int Urogynecol J*, 2018,29(10):1501—1507.
- [10] Wang L, Chen X, Li X, et al. The improvement of pelvic floor muscle function in POP patients after the Prolift procedure: results from surface electromyography[J]. *Int Urogynecol J*, 2013,24(10):1703—1708.
- [11] Peng Y, Miller BD, Boone TB, et al. Modern theories of pelvic floor support: a topical review of modern studies on structural and functional pelvic floor support from medical imaging, computational modeling, and electromyographic perspectives[J]. *Curr Urol Rep*, 2018,19(1):9.
- [12] Peng Y, He J, Khavari R, et al. Functional mapping of the pelvic floor and sphincter muscles from high-density surface EMG recordings[J]. *Int Urogynecol J*, 2016,27(11):1689—1696.
- [13] Gregory WT, Lou JS, Simmons K, et al. Quantitative anal sphincter electromyography in primiparous women with anal incontinence[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2008,198(5):550.e1—6.
- [14] 杨冬来,艾浩. 绝经后压力性尿失禁患者盆底肌电图特征研究[J]. *实用妇产科杂志*, 2016,32(8):589—592.
- [15] Weidner AC, Barber MD, Visco AG, et al. Pelvic muscle electromyography of levator ani and external anal sphincter in nulliparous women and women with pelvic floor dysfunction[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2000,183(6):1390—1399; discussion 1399—1401.
- [16] Paviour DC, Williams D, Fowler CJ, et al. Is sphincter electromyography a helpful investigation in the diagnosis of multiple system atrophy? A retrospective study with pathological diagnosis[J]. *Mov Disord*, 2005,20(11):1425—1430.
- [17] Linder J, Libelius R, Nordh E, et al. Anal sphincter electromyography in patients with newly diagnosed idiopathic parkinsonism[J]. *Acta Neurol Scand*, 2012,126(4):248—255.
- [18] Tankisi H, Pughahl K, Rasmussen MM, et al. Pelvic floor electrophysiology in spinal cord injury[J]. *Clin Neurophysiol*, 2016,127(5):2319—2324.
- [19] Anderson KM, Davis K, Flynn BJ. Urinary incontinence and pelvic organ prolapse[J]. *Med Clin North Am*, 2015,99(2):405—416.
- [20] Anderson RS. A neurogenic element to urinary genuine stress incontinence[J]. *Br J Obstet Gynaecol*, 1984,91(1):41—45.
- [21] Smith AR, Hosker GL, Warrell DW. The role of pudendal nerve damage in the aetiology of genuine stress incontinence in women[J]. *Br J Obstet Gynaecol*, 1989,96(1):29—32.
- [22] Zhu L, Hai N, Lang JH, et al. Value of the pudendal nerves terminal motor latency measurements in the diagnosis of occult stress urinary incontinence[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2011,124(23):4046—4049.
- [23] Bakas P, Liapis A, Karandreas A, et al. Pudendal nerve terminal motor latency in women with genuine stress incontinence and prolapse[J]. *Gynecol Obstet Invest*, 2001,51(3):187—190.
- [24] Saraidaridis JT, Molina G, Savit LR, et al. Pudendal nerve terminal motor latency testing does not provide useful information in guiding therapy for fecal incontinence[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2018,33(3):305—310.
- [25] Rasmussen OO, Christiansen J, Tetzschner T, et al. Pudendal nerve function in idiopathic fecal incontinence[J]. *Dis Colon Rectum*, 2000,43(5):633—636; discussion 636—637.
- [26] Lee SJ, Park JW. Follow-up evaluation of the effect of vaginal delivery on the pelvic floor[J]. *Dis Colon Rectum*, 2000,43(11):1550—1555.
- [27] Snooks SJ, Swash M, Henry MM, et al. Risk factors in childbirth causing damage to the pelvic floor innervation[J]. *Int J Colorectal Dis*, 1986,1(1):20—24.
- [28] Connell K, Guess MK, La Combe J, et al. Evaluation of the role of pudendal nerve integrity in female sexual function using noninvasive techniques[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2005,192(5):1712—1717.
- [29] Hubli M, Kramer J, Jutzeler CR, et al. Application of electrophysiological measures in spinal cord injury clinical trials: a narrative review[J]. *Spinal Cord*, 2019,57(11):909—923.
- [30] Schmid DM, Curt A, Hauri D, et al. Clinical value of combined electrophysiological and urodynamic recordings to assess sexual disorders in spinal cord injured men[J]. *NeuroUrol Urodyn*, 2003,22(4):314—321.
- [31] Pellegrinetti A, Moscato G, Siciliano G, et al. Electrophysiological evaluation of genito-sphincteric dysfunction in multiple system atrophy[J]. *Int J Neurosci*, 2003,113(10):1353—1369.
- [32] Curt A, Rodic B, Schurch B, et al. Recovery of bladder function in patients with acute spinal cord injury: significance of ASIA scores and somatosensory evoked potentials[J]. *Spinal Cord*, 1997,35(6):368—373.
- [33] Malaguti S, Spinelli M, Giardiello G, et al. Neurophysiological evidence may predict the outcome of sacral neuromodulation[J]. *J Urol*, 2003,170(6 Pt 1):2323—2326.
- [34] Cavalcanti GA, Manzano GM, Nunes KF, et al. Electrophysiological evaluation of the pudendal nerve and urethral innervation in female stress urinary incontinence[J]. *Int Urogynecol J*, 2013,24(5):801—807.
- [35] Turri M, Buono R, Basaldella F. Accuracy of neurophysiological tests in patients with neurological diseases and pelvic floor symptoms: Which tests for which patients?[J]. *Clin Neurophysiol*, 2017,128(12):e417—e431.
- [36] Lee DG, Kwak SG, Chang MC. Prediction of the outcome of bladder dysfunction based on electrically induced reflex findings in patients with cauda equina syndrome: a retrospective study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017,96(21):e7014.
- [37] Tas I, Yagiz On A, Altay B, et al. Electrophysiological assessment of sexual dysfunction in spinal cord injured patients[J]. *Spinal Cord*, 2007,45(4):298—303.
- [38] Cai ZY, Niu XT, Pan J, et al. The value of the bulbocavernosus reflex and pudendal nerve somatosensory evoked potentials in distinguishing between multiple system atrophy and Parkinson's disease at an early stage[J]. *Acta Neurol Scand*, 2017,136(3):195—203.