

拖带技术研究进展

刘汶杰¹ 雷森²

(1. 重庆医科大学, 重庆 400016; 2. 重庆医科大学附属第一医院 重庆医科大学附属第一医院心内科, 重庆 400010)

【摘要】 心律失常是临床常见的心脏疾病, 射频消融术是治疗这类疾病的重要手段, 而拖带技术在这类疾病的诊断和消融治疗中有着关键作用。现总结拖带技术的研究进展, 涵盖其基本工作原理、使用时刺激参数对其的影响以及临床应用情况。通过回顾相关理论研究和临床数据, 探讨刺激强度、心动过速周长、刺激次数对该技术效果的影响, 拖带在寻找心律失常折返环及关键峡部、鉴别诊断窄 QRS 波群心动过速中的作用, 以及其近年研究进展和局限性。

【关键词】 拖带; 重整; 电生理检查; 导管消融; 机制

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2026.01.005

Research Progress on Entrainment Technique

LIU Wenjie¹, LEI Sen²

(1. *Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China*; 2. *Department of Cardiology, The Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China*)

【Abstract】 Arrhythmia is a common heart disease in clinical practice, and radiofrequency ablation is an important means of treating such diseases. Entrainment technology plays a pivotal role in both the diagnosis and ablation treatment of such disorders. This paper aims to summarize research advances in entrainment technology, covering its fundamental principles, the influence of stimulation parameters during application, and its clinical utilisation. By reviewing relevant theoretical studies and clinical data, this study explores the impact of stimulation intensity, cycle length, and stimulation frequency on the effectiveness of this technique, as well as the role of entrainment in searching for arrhythmia re-entry circuits and key isthmus, differential diagnosis of narrow QRS tachycardia, and its recent research progress and limitations.

【Keywords】 Entrainment; Reset; Electrophysiologic study; Catheter ablation; Mechanism

心律失常是临床常见的多发疾病。射频消融术在心律失常的治疗中发挥重要作用。射频消融术的适应证包括房室折返性心动过速 (atrioventricular reentrant tachycardia, AVRT)、房室结折返性心动过速 (atrioventricular nodal reentrant tachycardia, AVNRT)、房性心动过速、室性心动过速、心房扑动、右心室流出道早搏和心房颤动等。在这些心律失常中, 相当一部分为折返性心动过速。在折返性心动过速的电生理检查及导管消融中, 拖带则扮演着极为重要的角色^[1-3], 不仅用于确定心律失常的折返机制, 也是确定折返环关键部位及精确指导消融的重要手段。现结合笔者拖带的相关研究, 对拖带技术的研究进展进行综述。

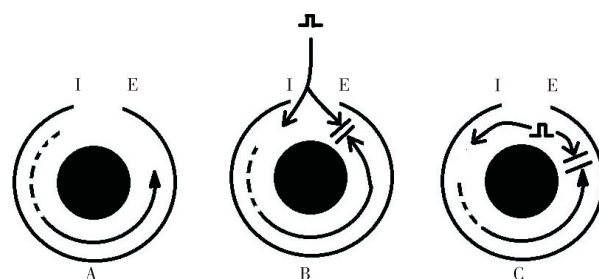
1 拖带的基本特征

折返相关性心动过速的机制需存在解剖或功能

传导阻滞。假设心脏某处存在解剖或功能性基质, 如图 1, 使得图中椭圆环内存在不能被电激动的瘢痕或功能性不应部位 (黑色部分), 周围则存在可进行除极的电通道。假设 I 为折返环入口, 电激动可从此处传进折返环, E 为折返环出口, 电激动从此处传出。实际情况中, 可能 I 和 E 同为一处, 也可能多处都有。心动过速发生时, 电激动的波前 (箭头) 在环形电通道内持续激动, 绕一圈所需的时间为心动过速周长 (cycle length, CL), 并通过 E 向外传导, 不停激动心肌, 导致心动过速发生。笔者将最简单的拖带激动机制 (一个折返环、一个入口、一个出口) 描述如图 1A 所示。

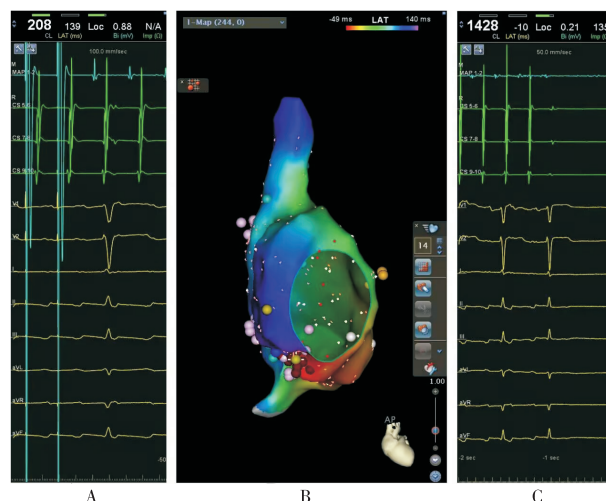
拖带最早由 Waldo 等^[4]于 1977 年在心房扑动相关研究中首次被报道, Khan 等^[5]和 Stevenson 等^[6]则在室性心动过速中研究拖带相关现象。随后拖带技术逐渐开始被广泛应用^[7-15]。拖带是指通过较心动过

速稍快的固定刺激,对折返环进行稳定连续的重整^[16]。其机制以图 1B 和图 1C 所示:(1)图 1B 中,在激动速度不变的情况下(实践表明除了房室结或少数瘢痕心肌传导延缓的情况下,绝大部分心肌传导速度变化不大),设有一位点在折返环外,进行较心动过速 CL 稍快的频率刺激,其电激动波前在适时的情况下通过 I 进入折返环,一方面它的逆向支与折返环的激动波前碰撞湮灭;另一方面,其顺向支绕着折返环径路到达 E,并激动心脏,称重整。若下一次刺激波前再次通过 I 进入折返环,一方面它的逆向支与上一次刺激的激动波前碰撞湮灭;另一方面,其顺向支又绕着折返环径路到达 E,并激动心脏。该过程持续发生时,则为拖带。拖带停止后,最后一次刺激到心动过速恢复后刺激位点第一个激动的间期,称为起搏后间期(post pacing interval, PPI)。该时间代表激动从刺激位点经折返环再回到刺激电极部位位点的时间(即使入口与出口不为同一位点,即刺激激动从入口进,出口出,在激动速度不变的情况下,很明显激动到达入口的时间加上从出口到刺激位点的时间大于从出口到入口的时间)。其时间大于心动过速 CL,此时 $PPI > \text{心动过速 CL}$ 。(2)图 1C 中,假设刺激位点在折返环内,适时情况下,其发放的第一次刺激,逆向支与折返环的激动波前碰撞湮灭,顺向支经折返环前进,与下一次刺激的逆向支碰撞,而下一次刺激的顺向支再经折返环前进,与再下一次刺激的逆向支碰撞,直到最后一次刺激,其逆向支与上一次刺激的激动波前碰撞湮灭,而其顺向支经折返环 1 周回到刺激位点,再次沿折返环前进,如此循环,心动过速恢复。由于最后一次刺激是经过折返环 1 周回到刺激电极位点部位,故该位点刺激到心动过速恢复的间期(即 $PPI = \text{心动过速 CL}$)。也就是说,对折返性心动过速进行拖带,如 $PPI = \text{心动过速 CL}$,刺激点位于折返环;如 $PPI > \text{心动过速 CL}$,刺激点位于折返环外。该方法目前被广泛应用于临床且实用价值非常高。图 2 为笔者所做的 1 例典型心房扑动射频消融,就使用了拖带技术。该图为 1 例围绕三尖瓣峡部折返的典型心房扑动的非高密度电激动标测图,激动从红色处开始,顺序通过橙黄绿蓝紫区域,为实际折返环激动路径。在折返环内一点(图 2B 最下的黄点为峡部区域)进行拖带, $PPI = \text{心动过速 CL}$ (图 2A),进一步证明该处为折返环内,在该处线性消融(图 2C 红点及蓝点)后,心动过速终止(如图 2C 示)。



注:图 A 为折返环,箭头为激动波前,实线为激动后不应期,虚线为相对不应期;图 B 为折返环外重整/拖带;图 C 为折返环内重整/拖带。

图 1 折返及重整/拖带示意图



注:图为笔者所做 1 例三尖瓣峡部依赖型心房扑动(心动过速 CL 为 220 ms,三尖瓣峡部位予以 200 ms 进行拖带)的三维激动图。绕三尖瓣进行拖带标测(黄色位点),所有 $PPI = \text{心动过速 CL}$ 。图 A 示峡部位点拖带, $PPI = 220 \text{ ms}$, $PPI = \text{心动过速 CL}$;图 B 提示绕三尖瓣进行拖带标测(黄色位点),所有 $PPI = \text{心动过速 CL}$,红色为线性消融点;图 C 提示峡部消融中心房扑动终止。

图 2 1 例三尖瓣峡部依赖型心房扑动的三维激动图

2 拖带参数的考量

在实际拖带中,对于进行拖带停止前需进行多少个基础刺激,目前尚无定论。一般认为需确定夺获后终止。那么,基础刺激的多少对拖带是否产生影响。Arceluz 等^[17]提出了一种新的确定拖带的方法,即同频率不同刺激个数对心律失常进行刺激,在夺获成功情况下,若 PPI 相同,则证明该心律失常为折返。理论上,当电极进行刺激时,譬如反复阴极电极刺激时,该部位阳离子聚集会增多,而在另一远离刺激电极部位,阴离子聚集增多,并可能形成跨膜电位,称为极化现象。由于前述不同刺激产生极化现象的程度可能不同,理论上可能对传导速度有一定影响,所以,在确定使用上述方法前,需排除极化现象对拖带的影响。因此,我们对拖带刺激参数对 PPI 本身的影响进行了研究,该研究^[18]纳入 21 例三尖瓣峡部依赖型心房扑动患者,行电激动标测、常规拖带标测及消融。同时,

采用不同刺激参数(基础刺激个数、刺激强度、刺激周期长度)进行拖带起搏。研究表明不同个数的基础 S1S1 刺激对 PPI 无显著影响,差异无统计学意义 [(9.66±6.60) ms vs (9.61±6.00) ms vs (9.57±7.30) ms, $P=0.999$]。但刺激强度对 PPI 有影响,随着刺激强度的增加, PPI 缩短,差异有统计学意义 [(9.61±7.00) ms vs (6.95±8.50) ms, $P=0.015$; (6.95±8.50) ms vs (3.80±7.80) ms, $P<0.0001$]。改变刺激 CL, PPI 改变也存在显著统计学差异 [(9.38±5.90) ms vs (10.61±6.20) ms, $P=0.001$; (10.61±6.20) ms vs (9.23±7.30) ms, $P=0.048$]。另有研究^[19]表明,当起搏拖带刺激逆向激动折返环时, PPI 可能比心动过速 CL 短。我们的研究^[18]发现增加刺激强度可缩短 PPI,可能因为当刺激强度增加时,可夺获更多的组织,下游形成的波前距离起搏位点更远,则会更早地回到起搏位点,所以 PPI 缩短。虽然 PPI 本身存在着变化^[20-21],但可清楚地看到其趋势^[19-20]。此外,虚拟电极也可能起到一定作用,虚拟电极是指在远离起搏电极的位置上出现初始电激动,类似前述,当虚拟电极出现在电路的下游位置时, PPI 也会缩短。

3 拖带技术的应用

除了 PPI,其他一些指标也在电生理手术中被广泛应用。根据拖带后电激动顺序和体表心电图的形态,拖带分为显性拖带和隐匿性拖带。显性拖带是指拖带时的体表心电图图形或心内激动顺序与心动过速本身不一致。隐匿性拖带则是指拖带时的体表心电图图形或心内激动顺序与心动过速本身一致。后者提示拖带起搏的部位位于或靠近折返环的关键峡部。拖带时除了观察 PPI 和是否隐匿性拖带,常还要考虑 S-P/QRS 间期和局部激动-P/QRS 间期。前者是指起搏拖带时,从起搏脉冲到 P 或 QRS 起点的时间。后者是指心动过速时,起搏拖带部位记录的局部电图到 P/QRS 波开始的时间。对拖带时顺向支激动部位, S-P/QRS 间期应等于局部激动-P/QRS 间期。如果在折返环的出口拖带, PPI=心动过速 CL,但 S-P/QRS 间期和局部激动-P/QRS 间期较短,例如占心动过速 CL 的 30% 以内;在入口拖带,则 PPI=心动过速 CL,但 S-P/QRS 间期和局部激动-P/QRS 间期较长,占心动过速 CL 的 50%~70%,占 30%~50% 的则可能为关键峡部区域。

以上指标是用来确定折返环的关键峡部。另一方面,拖带技术也被广泛用于鉴别室上性心动过速^[21-25]。首先右心室快速起搏可鉴别局灶心动过速如房性心动过速^[26-28]。右心室快速起搏时,如果房室分离,则为房性心动过速;若室房 1:1 传导,起搏停止

后,若心动过速不终止,心内电激动为局部心房-心房-心室信号(AAV)表现,则为房性心动过速,否则为 AVRT 或 AVNRT。这里需排除假性 AAV 的情况,后者为刺激-心房(SA)间期太长,下一个顺向激动的 A 在上一个 V 波(QRS 波群)后面,所以此时看到的 AAV 其实为心室-心房-心室信号(VAV)。鉴别要点是最后一个刺激 S 到看到的第一个恢复的 A 间期等于前面的 SA 间期。此外,心房快速起搏后测量 VA 间期的关联性也用于房性心动过速的鉴别。近期有学者^[27]提出,在右心室快速起搏时,房室结周围的折返性房性心动过速(1:1 下传心室)也出现 VAV 现象。他们提出使用最后拖带时序方法来鉴别该心动过速。进行某位点的心房快速起搏时,测量起搏最后一个刺激后的 A(A1)和下一个 A(A2),如果 A1A2 都未加速到起搏 CL,则换位点起搏至 A1A2 都加速到起搏 CL。该位点提示拖带时顺向夺获,出现 A2-His-V 激动顺序,则提示结周折返房性心动过速。鉴别完成房性心动过速后,则进一步鉴别 AVRT 和 AVNRT^[24]。因为二者均为折返,所以此时心室刺激室房 1:1 传导很可能是拖带心动过速了,但还是要满足拖带标准:起搏终止后心动过速继续,终止前 1:1 传导且心房激动顺序不变。对于 AVRT 和 AVNRT,前者心室为折返环的一部分,而后者心室不是折返环的一部分。因此,在心室进行拖带,理论上拖带部位的 PPI 在 AVRT 时应等于心动过速 CL。实际中,由于房室结有递减性传导,所以 PPI 与心动过速 CL 在 AVRT 时也存在差异,即使通过起搏时的 AH 间期减去心动过速的 AH 间期来矫正,仍有 110 ms 以内的差异,所以使用 110 ms 分界点来鉴别。AVRT 时 PPI 与心动过速 CL 差值 < 110 ms,而 AVNRT 时差值则 > 110 ms^[29]。另外,如果是在右心室拖带左侧游离壁旁道的 AVRT,因为有可能主要的折返环为间隔与左心室,则此时 PPI 与心动过速 CL 差值可能 > 110 ms。除了使用 PPI 与心动过速 CL 差值,也有研究表明使用 SA 与 VA 间期差值也可作为鉴别指标,此时分解点值为 80 ms。由于只考虑了刺激到心房的激动时间,这里就不考虑心房到心室传导时间了(存在房室结递减传导的部位)。但因为具体折返环在束支和浦肯野纤维的传导不同,所以可能仍有 80 ms 以内的差异^[30-31]。我们也进行了相关研究,研究^[32-33]只考虑旁道附近的局部 VA 间期值,而不考虑折返环在束支和浦肯野纤维的传导不同。实际工作中没办法开始就指导旁道部位,因此我们以冠状窦(coronary sinus, CS)电极来进行研究。AVNRT 发作时,CS 导管 9-10 电极通道通常是 CS 导管中局部 VA 最短及 A 波最早通道,该部位位于慢径附近,心动

过速时激动通过双径路中的其中一条达折返环拐点后,激动下位共径后在激动希氏束的同时,也逆传向慢径附近的局部心房,故局部心房及心室为平行激动;右心室拖带时,刺激激动提前激动希氏束及拐点(也同时激动附近局部心室肌)进入折返环,再激动心房,故局部心室心房为顺序激动。因此后者局部 VA 间期延长。而对于间隔旁路,CS 导管最短 VA 间期可相当于旁路附近局部心室心房肌激动间期。一般来说,不论心动过速还是拖带时,均为局部心室激动后再激动局部心房肌,故 VA 间期应基本相同。需注意,若拖带时局部心室肌由刺激逆向支激动,则 VA 间期稍缩短。其原因为若最后 1 次拖带刺激的逆向支激动了 CS 口局部心室肌,则其起搏后回归周期 VV 间期等于起搏 CL,小于心动过速 CL。而顺向支激动的局部心室肌的回归周期 AA 间期等于心动过速 CL(因其在折返环内)。此时测量的心动过速 VA 间期相对延长。右侧旁路机制有所不同,因 CS 导管最短局部 VA 间期并非旁路附近心室心房激动间期。拖带时,拖带刺激的顺向支较前一次拖带刺激激动更早发生,故更早到达 CS 口局部心房肌。而若前一次拖带为最后一次拖带,其激动局部心室肌后,将沿折返环激动局部心房肌,类似心动过速时。这样拖带时的 CS 口局部 VA 间期短于心动过速时局部 VA 间期。另一种为拖带刺激逆穿支激动 CS 口局部心室肌的情况,则类似前述间隔旁路时。我们的研究表明比较拖带及心动过速时 10 极 CS 导管的最短 VA 间期可鉴别 AVNRT 或 AVRT。若拖带时较心动过速时 CS 最短 VA 间期增加 > 40 ms,则提示为 AVNRT;若拖带时较心动过速时 VA 间期差值 < 30 ms(包括负值),则提示为 AVRT。右侧旁路拖带时 VA 间期常会缩短。晚近有学者提出局部 VA 指数的指标^[34]与我们的方法如出一辙。前述两种方法与传统拖带分析方法还有一点区别是,大部分拖带都分析起搏位点的电生理信息,但此两种方法是分析起搏拖带是其他导管的电生理信息。最近,有学者^[10]也系统研究了起搏拖带时同步多点分析的可行性,并推荐进行应用。

4 拖带的局限性

拖带也有其局限性,首先仅有折返性心动过速才能被拖带,局灶心动过速如自律性增高或触发活动导致,不能进行拖带^[35]。当然,快速起搏本身也有一定价值,比如在房性心动过速中的应用^[36]。对于 CL 存在震荡变化的心动过速,无办法进行拖带。最后,拖带的快速刺激可能终止心动过速,使得标测和消融困难。虽然目前标测技术快速发展,特别是高密度标测的出现,使得相当一部分心律失常仅通过激动标测就

能阐明机制,避免了拖带可能终止心动过速的尴尬,但对于复杂结构导致的折返性心动过速或心外膜参与的快速心律失常,复杂的激动有时候难以分清折返关键峡部或无法完全标测,此时拖带仍发挥重要作用。因此,无论如何,作为电生理的经典技术之一,拖带技术仍将在心律失常的治疗和研究中发挥重要作用。

参考文献

- [1] Bagliani G, de Ponti R, Leonelli FM, et al. The history of atrial flutter electrophysiology, from entrainment to ablation: a 100-year experience in the precision electrocardiology [J]. *Card Electrophysiol Clin*, 2022, 14 (3): 357-373.
- [2] Wakamatsu Y, Nagashima K, Iso K, et al. Resetting of atrial tachycardia by a scanned extrastimulus at a downstream site on a multielectrode catheter: a simple diagnostic maneuver for locating the macroreentrant atrial tachycardia circuit [J]. *J Interv Card Electrophysiol*, 2022, 63(1): 39-47.
- [3] Dall'Aglia PB, Johner N, Namdar M, et al. Significance of post-pacing intervals shorter than tachycardia cycle length for successful catheter ablation of atypical flutter [J]. *Europace*, 2021, 23(4): 624-633.
- [4] Waldo AL, MacLean WA, Karp RB, et al. Entrainment and interruption of atrial flutter with atrial pacing: studies in man following open heart surgery [J]. *Circulation*, 1977, 56(5): 737-745.
- [5] Khan H, Stevenson W. Activation times in and adjacent to reentry circuits during entrainment: implications for mapping ventricular tachycardia [J]. *Am Heart J*, 1994, 127(4 Pt 1): 833-842.
- [6] Stevenson W, Friedman P, Sager P, et al. Exploring postinfarction reentrant tachycardia with entrainment mapping [J]. *J Am Coll Cardiol*, 1997, 29(6): 1180-1189.
- [7] Almendral J, Caulier-Cisterna R, Rojo-Álvarez JL. Resetting and entrainment of reentrant arrhythmias; Part I: concepts, recognition, and protocol for evaluation: surface ECG versus intracardiac recordings [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2013, 36(4): 508-532.
- [8] Almendral J. Resetting and entrainment of reentrant arrhythmias; Part II: informative content and practical use of these responses [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2013, 36(5): 641-661.
- [9] Soejima K, Stevenson W, Maisel W, et al. The N + 1 difference: a new measure for entrainment mapping [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2001, 37(5): 1386-1394.
- [10] Derejko P, Podziemiński P, Bardyszewski A, et al. Simultaneous entrainment response assessment at multiple sites [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2022, 8(11): 1381-1390.
- [11] Vázquez-Calvo S, Roca-Luque I, Porta-Sánchez A. Ventricular tachycardia ablation guided by functional substrate mapping: practices and outcomes [J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2022, 9(9): 288.
- [12] Nishimura T, Upadhyay GA, Aziz ZA, et al. Double loop ventricular tachycardia activation patterns with single loop mechanisms: asymmetric entrainment responses during "pseudo-figure-of-eight" reentry [J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(9): 1548-1556.
- [13] Anter E, Tschabrunn CM, Buxton AE, et al. High-resolution mapping of postinfarction reentrant ventricular tachycardia: electrophysiological characterization of the circuit [J]. *Circulation*, 2016, 134(4): 314-327.
- [14] Kaiser DW, Hsia HH, Dubin AM, et al. The precise timing of tachycardia entrainment is determined by the postpacing interval, the tachycardia cycle length, and the pacing rate: theoretical insights and practical applications [J]. *Heart Rhythm*, 2016, 13(3): 695-703.
- [15] Barbhuiya CR, Kumar S, Ng J, et al. Over drive pacing from downstream sites on

