

· 综述 ·

判断左束支起搏成功夺获标准的研究进展

岳岸娜¹ 钱步云¹ 陈璐¹ 孙康云¹ 邹建刚²

(1. 南京医科大学附属苏州医院心血管内科, 江苏 苏州 215008; 2. 南京医科大学第一附属医院心血管内科, 江苏 南京 210029)

【摘要】左束支起搏(LBBP)定义为起搏夺获左束支,包括左束支主干及其分支,伴或不伴周围心肌夺获,且夺获阈值一般不超过 1.5 V/0.4 ms。记录到逆行希氏束电位或顺行左束支电位是左束支夺获的直接证据,但该操作较为复杂,临床使用较少。在起搏导线植入过程中,通常根据心电图变化来判断导线是否成功夺获左束支,具体包括体表心电图 QRS 波群形态、左心室达峰时间变化、腔内心电图检测到左束支电位或损伤电流,以及改变起搏输出时观察到非选择性 LBBP 转换到选择性 LBBP 或左心室间隔部起搏等。由于患者存在个体差异,一些学者提出了个体化的左心室达峰时间、 V_6-V_1 峰值间期以及 LBBP 评分等方法进一步补充了夺获标准。现对目前常用的标准进行分析总结,为临床操作提供更多依据,以提高 LBBP 手术成功率。

【关键词】左束支起搏;左束支夺获标准;左束支电位;损伤电流;左心室激动时间

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2024.04.001

Criteria for Determining Successful Capture of Left Bundle Branch Pacing

YUE Anna¹, QIAN Buyun¹, CHEN Lu¹, SUN Kangyun¹, ZOU Jiangang²

(1. Department of Cardiology, The Affiliated Suzhou Hospital of Nanjing Medical University, Suzhou 215008, Jiangsu, China; 2. Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu, China)

【Abstract】 Left bundle branch pacing (LBBP) is defined as the capture of the left bundle branch by pacing, including the capture of left bundle branch trunk and its branches (with or without peripheral myocardial) and the low capture threshold (less than 1.5 V/0.4 ms). The recording of retrograde His bundle potential or anterograde left bundle branch potential is the direct evidence of left bundle branch capture, but the operation is more complex and less used in clinical practice. During pacemaker lead implantation, electrocardiogram (ECG) changes are usually used to determine whether the lead successfully captured the left bundle branch. Specifically, it includes changes in the shape of QRS wave in body surface ECG, changes in left ventricular activation time, detection of left bundle branch potential or injury current in intracavitary ECG, and observation of non-selective LBBP switching to selective LBBP or left ventricular septal pacing when pacing output is changed. Due to individual differences in patients, some scholars have proposed personalized methods such as left ventricular peak time, V_6-V_1 peak interval, and LBBP score to further supplement the capture criteria. This review aims to summarize the commonly used criteria at present and provide more evidence for clinical operation to improve the success rate of LBBP surgery.

【Keywords】 Left bundle branch pacing; Criteria for capture of left bundle branch; Left bundle branch potential; Current of injury; Left ventricular activation time

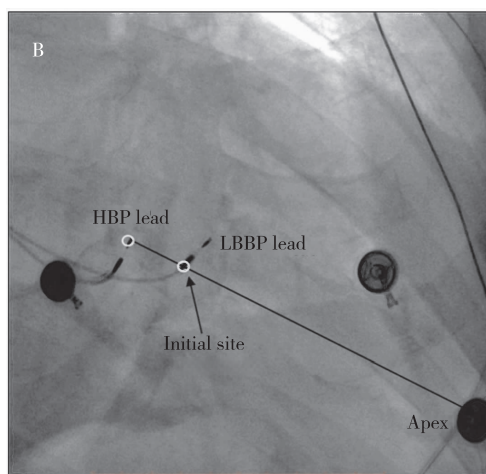
2017 年中国黄伟剑教授等^[1]首次尝试了跨越阻滞部位进行左束支起搏(left bundle branch pacing, LBBP),比传统的右心室起搏更符合生理性传导特点,也避免了希氏束起搏(His bundle pacing, HBP)存在的感知不良、过感知、高阈值、远期失夺获等问题^[2]。然而在实际手术操作过程中,保证并明确有左束支(left bundle branch, LBB)夺获并不简单,目前很多研究缺乏直接夺获 LBB 的证据,只是 LBB 区域起搏,部分患

者起搏导线只夺获左心室间隔心肌,为左心室间隔部起搏(left ventricular septal pacing, LVSP)。有研究^[3]表明 LBBP 相较于 LVSP 能产生更优的左心室同步,为了保证更好的心室同步,笔者更倾向 LBBP。近期有大量研究探索了 LBB 夺获的相关证据,就现有 LBB 夺获的证据综述如下。

1 LBB 的解剖结构

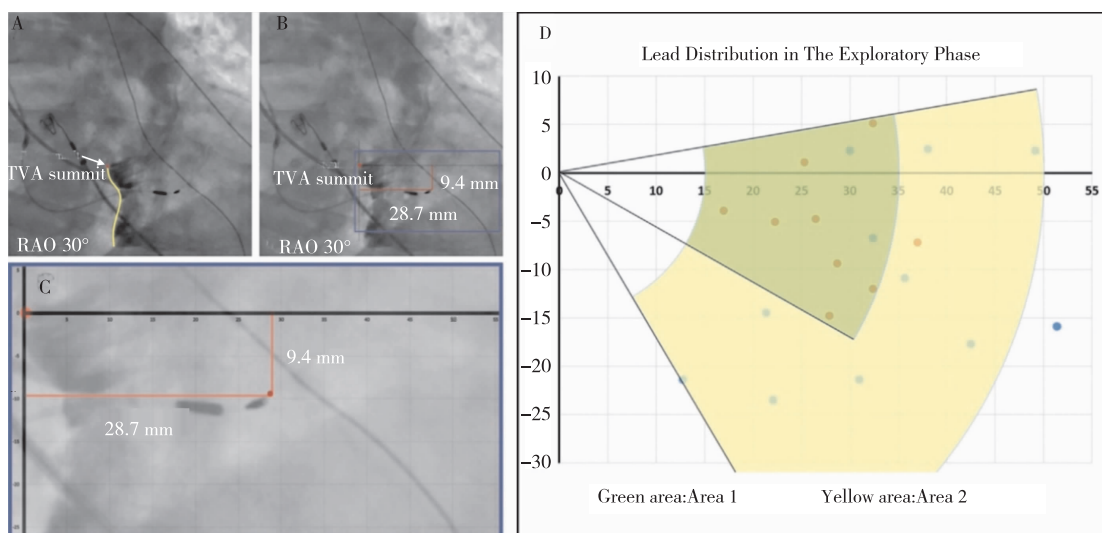
在行 LBBP 过程中,术者通常以希氏束为标记,以

此来指导 LBB 导线植入位置(图 1)^[4]。为了提高导线植入的准确性, Liu 等^[5]通过三尖瓣环显像技术探索了 LBBP 导线的最佳目标区域,缩短了手术和透视时间,为临床操作提供了更加可靠的依据(图 2)。LBB 起源于希氏束的分支部分,起始部最狭窄约 5 mm,向下延伸 10 ~ 15 mm 后达到最大宽度^[6],在室间隔肌部上、中 1/3 交界处发出三个分支——左前分支、左后分支以及间隔支,分别支配前外侧、后内侧乳头肌以及室间隔^[7-8]。LBB 的解剖结构个体差异较大,可以分成三种类型:双分支型、三分支型和扇形结构^[9]。与狭窄的希氏束相比, LBB 呈扇形走行于左心室心内膜下,成为更宽的起搏靶点,目前 LBBP 导线大多放置在左主干和左后分支,因为左后分支较左前分支更为宽厚,电极更易固定,起搏效果更好。充分了解 LBB 的解剖位置,可以为起搏电极的植入增加有效性以及安全性,提高 LBB 夺获的成功率。



注:在右前斜 30°影像下,以 HBP 导线的位置作为参考,往右心室心尖部连线方向前进 1.0 ~ 1.5 cm,此处为 LBB 主干区域,建议作为 LBBP 电极植入位点。HBP lead,希氏束起搏电极;LBBP lead,左束支起搏电极;Initial site,左束支起搏电极初始位置;Apex,心尖。

图 1 LBBP 电极植入位点图(传统透视法)^[4]



注:A ~ C,利用 C315 鞘管注入对比剂显示 TVA 顶点位置,并测量 LBB 导线尖端与 TVA 顶点之间的水平和垂直距离;D,红点表示记录到 LBB 电位;蓝点表示未记录到 LBB 电位;区域 1 定义为 LBBP 导线植入目标区域,范围是以 TVA 顶点为圆心,半径 15 ~ 50 mm,角度为 TVA 顶点上方(+ 10°) ~ 下方(- 30°)的扇形区域;区域 2 定义为 LBB 电位不常被记录的区域。TVA summit, TVA 顶点;RAO,右前斜位;TVA,三尖瓣环;Lead Distribution in The Exploratory Phase,探索阶段的电极分布;Green area,绿色区域;Area 1,区域 1;Yellow area,黄色区域;Area 2,区域 2。

图 2 LBBP 电极植入位点图(三尖瓣环显像法)^[5]

2 LBBP 成功的标准

2.1 逆行希氏束电位和逆行 LBB 电位

通过标测导管和双导线可以更加准确直接地反映 LBB 以及希氏束的电活动情况。Wu 等^[10]通过在希氏束部位放置起搏电极,在 LBB 传导系统放置多电极导管来记录逆行 LBB 电位和逆行希氏束电位。当成功夺获 LBB 时,无论是选择性左束支起搏(selective left bundle branch pacing, S-LBBP)还是非选择性左束支起搏(non-selective left bundle branch pacing, NS-LBBP),脉冲信号至希氏束电位的间期与心脏自身传

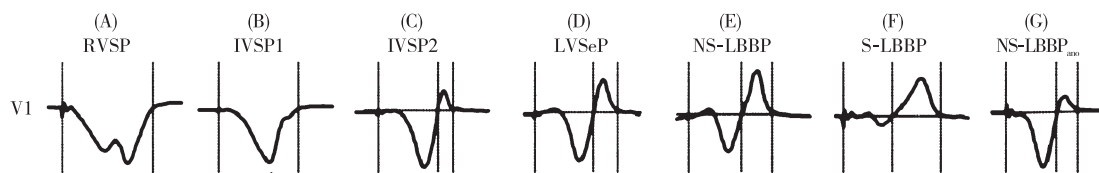
导时,希氏束电位至 LBB 电位的间期之间无显著差异,且一旦 LBB 被夺获,无论左心室间隔部心肌夺获与否,浦肯野纤维传导系统中的逆行和逆行电位间隔均不受影响。研究人员还用此方法评估了间接夺获标准的诊断价值,认为左心室游离壁激动时间(stimulus to left ventricular activation time, Stim-LVAT)突变超过 10 ms 或出现 S-LBBP 的心电特征是判断 LBB 夺获的简单且有较高价值的标准^[10-11],但标测导管的结构和功能较为复杂,需要术者经过专门的培训,同时掌握一定的电生理知识,才能确保电信号的

准确性和稳定性;而且标测导管价格昂贵,会增加患者费用,故目前主要应用于 LBBP 相关科研和电生理机制学方面,临床实践较少应用。

2.2 QRS 波群形态

LBBP 单极起搏测试时心电图大多呈右束支传导阻滞(right bundle branch block, RBBB)形态。S-LBBP 的体表心电图呈典型的 RBBB 形态, V_1 导联呈 M 或 rsR' 形态;NS-LBBP 的 V_1 导联呈 qR 或者 Qr 形态^[12]。在 LBBP 操作过程中,随着导线不断深入,QRS 波群形态从左束支传导阻滞(left bundle branch block, LBBB)变为不典型的 RBBB,最后转变为典型的 RBBB,说明

导线距离 LBB 越来越近,最终固定在 LBB 上(图 3)^[13]。Jastrzębski 等^[14]提出在导线深入过程中,观察到 V_1 导联出现 qR/rsR' 形态的室性期前收缩(premature ventricular beat, PVB)可确认电极到达 LBB。Ponnusamy 等^[15]将具有以上特征且 QRS 时限 < 130 ms 的 PVB 作为术中 LBBP 导线到位的参考图形。通过对 90 例确认 LBB 夺获的患者进行分析,发现 59% 的患者出现了这种 PVB,当出现时说明导线已经抵达 LBB,应停止导线旋入,避免室间隔穿孔。少数 LBBP 存在阴极和阳极环分别夺获 LBB 和右束支区域,心电图 V_1 导联呈 QS 形态,QRS 时限更短^[16]。



注:(A)导线位于右心室内膜下,心电图呈现典型的“W”形态;(B)随着导线深入,切迹向右侧移动,但未出现 R 波;(C)导线继续深入,出现 r 波;(D)~(F)随着导线深入以及输出调整,LVSeP 为仅夺获左心室间隔心肌,NS-LBBP 为同时夺获左心室间隔心肌和 LBB,S-LBBP 为仅夺获 LBB;(G)某些情况下,双极起搏时 QRS 时限更短。RVSP,右心室间隔部起搏;IVSP1,室间隔内起搏;IVSP2,更深处室间隔内起搏;LVSeP,左心室间隔部起搏;NS-LBBP_{ano},带有阳极夺获的非选择性左束支起搏。

图 3 电极从右心室内膜下逐渐深入过程中 V_1 导联 QRS 波群形态变化^[13]

2.3 LBB 电位和损伤电流

LBB 电位是指在腔内心电图上观察到 QRS 波群前 20 ~ 30 ms 的高频电位信号,然而 LBBP 成功的患者中记录到 LBB 电位的概率较小。尹磊等^[17]探究了 LBB 电位的存在与否对起搏效果的影响,结果表明有 LBB 电位的 LBBP,其 QRS 时限更短,提示在术中记录到 LBB 电位的起搏方式更优,心室的同步性更好。Jastrzębski 等^[18]提出若记录到 LBB 电位时,“自身传导下 LBB 电位至 V_6 导联 R 波峰值时间 = 起搏刺激至 V_6 导联 R 波峰值时间”是判断 LBB 夺获的可靠间接标准。LBB 损伤电流(current of injury, COI)定义为在导线旋入室间隔并到达左心室面,导线头端接触到 LBB,在腔内心电图上记录到 LBB 电位,电位至心室电位之间的一段(PV 段)较基线抬高或压低 > 25%^[19]。随着导线不断深入,LBB 电位波幅增大,COI 也逐渐增大^[20]。Su 等^[19]纳入了 115 例记录到 LBB 电位的 LBBP 患者,其中有 77 例患者可以观察到 COI,这些记录到 COI 的患者 LBB 夺获阈值均 < 1.5 V/0.5 ms,研究者还发现 S-LBBP 患者更可能观察到 COI。所以 LBB 电位和 COI 可以作为判断 LBB 夺获的标准,且能帮助术者判断植入深度,尽可能避免室间隔穿孔的发生。

2.4 NS-LBBP 过渡到 S-LBBP 或 LVSP

在单极起搏阈值测试时,如果起搏导线顺利固定

到 LBB 上,那么突然降低输出时,可以观察到 NS-LBBP 过渡到 S-LBBP 的变化,即在体表心电图上起搏钉和 QRS 波群之间可以观察到等电位线。Wu 等^[21]指出只有当间隔心肌阈值高于 LBB 阈值时,才会出现等电位线。当 NS-LBBP 转变为 S-LBBP 时,由于起搏只夺获 LBB, V_1 导联中的 R 波持续时间和 V_6 导联中的 S 波持续时间延长^[13]。如果起搏导线靠近 LBB,那么突然降低输出时,可以观察到 NS-LBBP 过渡到 LVSP, V_6 导联上起搏刺激至 R 波峰值时间(V_6 R-wave peak time, V_6 RWPT)延长 ≥ 15 ms (灵敏度 82.6%, 特异度 100%)^[22],这是因为降低输出时仅夺获间隔心肌。研究^[10]表明,出现 S-LBBP 对诊断 LBB 夺获的特异度为 100%。

2.5 Stim-LVAT 和个体化 Δ LVAT 和 Δ LVAT%

2.5.1 Stim-LVAT

Stim-LVAT 通常表示心前区外侧心肌去极化时间,在体表心电图表现为 $V_4 \sim V_6$ 导联中起搏钉到 QRS 波群峰值的时间间隔。研究^[10]表明,一旦 LBB 夺获,无论 S-LBBP 还是 NS-LBBP,Stim-LVAT 都会突然缩短 ≥ 10 ms,在最终导线位置下无论高低输出,Stim-LVAT 均保持短且一致,此时获得的最短 Stim-LVAT 可作为确认同一患者 LBB 夺获的标准。Qian 等^[23]利用单光子发射计算机断层成像评估左心室机械同步性发现 LVAT 可以作为 LBBP 起搏的标准之

一。Zhong 等^[24]对 28 例行 LBB 区域起搏的患者进行研究,结果显示在电极植入过程中当输出突然增加(5 V/0.5 ms)时,Stim-LVAT 缩短,表明电极接近 LBB,然后持续低输出(2 V/0.5 ms)继续深入,直到 Stim-LVAT 突然缩短,表明电极固定到 LBB 上,此时有约 89.3% 的患者腔内心电图可观察到刺激至 QRS 波群起始间隔(S-V 间期)变化,且持续低输出时 Stim-LVAT 突然缩短对预测 S-V 间期的灵敏度为 100%,特异度为 33.3%。然而,若是 LBB 与其周围心肌阈值接近,则难以观察到以上变化,需要结合阻抗等参数。Jastrzębski 等^[18]纳入 124 例患者,分析了 357 例心电图,发现 V_6 RWPT < 74 ms 对于窄 QRS 波群或者 RBBB 的患者,其 LBB 捕获的特异度接近 100%,对于存在左心室传导系统高度病变(例如 LBBB/非特异性室内传导阻滞/逸搏心律)的患者, V_6 RWPT ≤ 80 ms 更具特异性。同时,该研究^[18]以患者固有的 QRS 波群为参考进行假设并验证,建立了新的 LBB 夺获诊断标准:有 LBB 夺获时,若记录到 LBB 电位,可以观察到 V_6 RWPT 与 LBB 电位至 V_6 导联 R 波峰值间期相似,差异不超过 10 ms(灵敏度为 88.2%,特异度为 95.4%);若未记录到 LBB 电位,可以通过观察起搏 V_6 RWPT(从 QRS 波群起点测量)与固有 V_6 RWPT(从 QRS 波群起点测量)是否相似(灵敏度为 98.0%,特异度为 85.7%)。蔡彬妮等^[25]对成功行 LBBP 的 102 例患者进行了研究分析,发现 LVAT 受左心室舒张末期内径(left ventricular end diastolic diameter, LVEDD)影响,LVEDD 越大, LVAT 延长,起搏 QRS 时限也相应增加。

2.5.2 个体化 Δ LVAT 和 Δ LVAT%

虽然 LBB 电位结合短且固定的 Stim-LVAT 可以更好地预测 LBB 夺获,但对于心力衰竭或存在传导阻滞的患者,需要个体化的标准而不是固定的临界值^[26]。Vijayaraman 等^[27]纳入 32 例 LBBB 患者作为研究对象,共分析了 136 例心电图,由于 LBBP 位于 HBP 部位的远端,因此与 HBP 期间相比,LBBP 期间的 RWPT 更短,用 Δ RWPT 表示 HBP 与 NS-LBBP/LVSP 的差值,研究发现 Δ RWPT = 8 ms 可确认 LBB 夺获(灵敏度 100%,特异度 93.0%),且 Δ RWPT > 10 ms 具有更好的特异性(灵敏度 81.0%,特异度 100%),能更好地区分 LBBP 和 LVSP。Qian 等^[28]共纳入 105 例患者,利用患者自身的心室传导参数 HBP 或右心室间隔部起搏(right ventricular septal pacing, RVSP)的 LVAT 为参考将标准个体化以减少差异影响,用 Δ LVAT1 表示 HBP 与 LBBP/LVBP 的差值, Δ LVAT2 表示 RVSP 与 LBBP/LVBP 的差值, Δ LVAT% 表示 Δ LVAT 减少的

百分比。研究发现 LBBP 患者的 LVAT 明显短于 LVSP 患者,对于心脏功能正常的患者, Δ LVAT1 > 12.5 ms 可确认 LBB 夺获(灵敏度 73.9%,特异度 93.3%);对于心力衰竭的患者, Δ LVAT1 > 9.0 ms 或者 Δ LVAT1% > 9.8% 具有较高的准确性(灵敏度 92.0%,特异度 92.3%),且利用 HBP 作为参考优于 RVSP。

2.6 V_6 - V_1 峰值间期

V_6 RWPT 延长可能受多种混杂因素影响,例如室内传导延迟、左心室扩张等,Jastrzębski 等^[22]发现 V_6 - V_1 峰值间期(V_6 导联 R 波峰值时间位点与 V_1 导联 R 波峰值时间位点的差值)可以作为一种新的判断 LBB 夺获的标准来减少混杂因素的影响,通过 V_6 - V_1 峰值间期来判断起搏夺获的不同类型。研究表明 S-LBBP 时 V_6 - V_1 峰值间期最长(160.15 ± 15.04) ms,其次是 NS-LBBP 时的峰值间期(41.3 ± 14.0) ms, LVSP 时最短(26.5 ± 8.6) ms,提示 V_6 - V_1 峰值间期越大,越可能是 LBB 相关起搏,且 V_6 - V_1 峰值间期 > 33 ms 区分 NS-LBBP 和 LVSP 的灵敏度为 71.8%,特异度为 90.0%,同时结合 V_6 RWPT < 75 ms 可提高 LBB 夺获的准确性。

2.7 aVL-RWPT 及 LBBP 评分

除了 V_6 RWPT 和 V_6 - V_1 峰值间期对于区分 LBBP 和 LVSP 可以提供很好的临界值,近期 Briongos-Figuero 等^[29]通过对 71 例确定 LBB 夺获的病例进行分析研究,发现 aVL 导联上起搏刺激至 R 波峰值时间(aVL R-wave peak time, aVL-RWPT) < 79 ms 可以作为判断 LBB 夺获的一个新指标(灵敏度 71.2%,特异度 88.4%),并且提出了 LBBP 评分,即将 V_6 RWPT、aVL-RWPT 和 V_6 - V_1 峰值间期联合,为了方便临床应用,将这三者的临界值进行分层评分:根据临界值将 V_6 RWPT 分为 > 83 ms、80 ~ 83 ms、< 80 ms 并分别给予 0、1、2 分;aVL-RWPT 分为 > 79 ms、74 ~ 79 ms、< 74 ms 并分别给予 0、1、2 分; V_6 - V_1 峰值间期分为 > 44 ms、33 ~ 44 ms、< 33 ms 并分别给予 0、2、4 分。最终发现综合评分 ≥ 3 分具有较高的诊断价值(灵敏度 89.2%,特异度 100%),其中 V_6 - V_1 峰值间期权重最高,这一观点的提出将为 LBBP 植入提供更加有效的依据。

2.8 程序性深间隔刺激

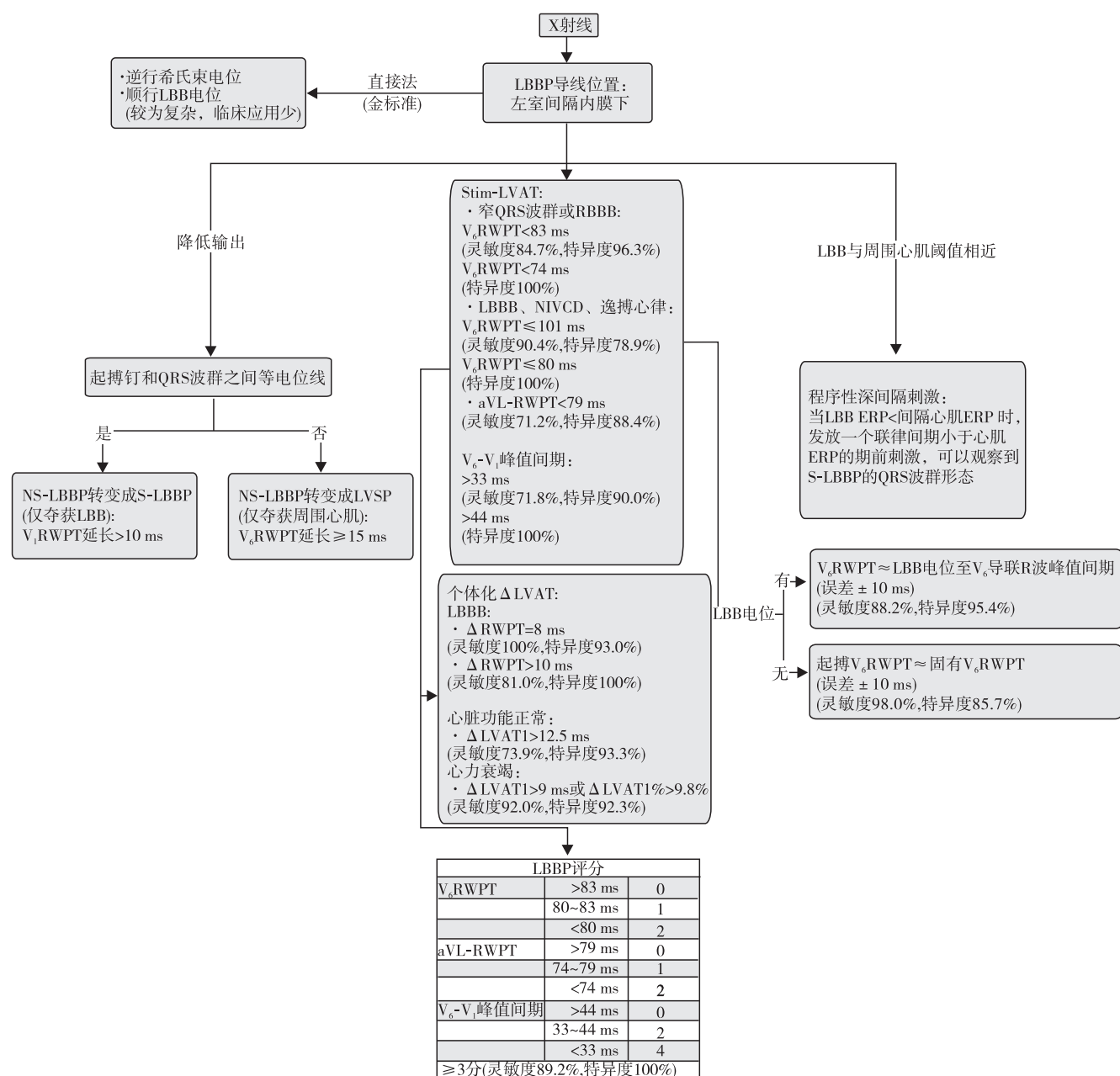
程序刺激是指在患者自身心律或起搏节律期间利用程序刺激仪发放一个或者多个期前刺激。若 LBB 与其周围心肌阈值接近,那么直接夺获 LBB(NS-LBBP)与仅夺获深间隔心肌的基础心电图差异不明显。于是 Jastrzębski 等^[30]利用 LBB 和心肌的有效不应期(effective refractory period, ERP)差异进行干预排除周围心肌的影响,当 LBB 的 ERP 短于间隔心肌的

ERP 时,发放一个联律间期小于心肌的 ERP 的早搏刺激,可以观察到 S-LBBP 的 QRS 波群形态,证明 LBB 夺获。

3 结语

本文系统地总结了 LBB 夺获的心电特征,包括直接和间接夺获证据,并针对不同患者的特点具体分析(图 4)。以往研究总结了术中观察到 RBBB 形态、LBB 电位、NS-LBBP 过渡到 S-LBBP 或 LVSP,以及 LVAT 变化来确认有无 LBB 夺获,但是并非所有接受 LBBP 的患者均具有上述特征。近年来,一些研究发现对相关心电图特征数值化,给定一个临界值,可以提高 LBB 夺获的准确性,比如 V_6 RWPT、 aVL -RWPT 和

V_6 - V_1 峰值间期,以及为了减少个体差异带来的影响而提出的个体化 Δ LVAT 和 Δ LVAT%。最近一些研究^[11,29]发现前三者联合起来进行综合评分较单独应用具有更好的诊断价值。虽然通过直接标测逆行希氏束电位和顺行 LBB 电位是 LBB 夺获的金标准,但方法比较复杂且损伤较大。而间接标准中 Stim-LVAT 突变超过 10 ms 或出现 S-LBBP 的心电特征对判断 LBB 夺获的特异度为 100%,也具有很好的诊断价值,且损伤相对较小。目前国内外均提出了关于 LBBP 成功夺获 LBB 的标准,并仍在不断扩充,综合分析各项标准可以更好地指导临床操作,减少手术的失误和并发症。



注: NIVCD, 非特异性室内传导阻滞; V_1 RWPT, V_1 导联上起搏刺激至 R 波峰值时间。

图 4 LBB 夺获标准流程图

参 考 文 献

- [1] Huang W, Su L, Wu S, et al. A novel pacing strategy with low and stable output: pacing the left bundle branch immediately beyond the conduction block[J]. *Can J Cardiol*, 2017, 33(12):1736. e1-1736. e3.
- [2] Vijayaraman P, Chung MK, Dandamudi G, et al. His bundle pacing[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(8):927-947.
- [3] Heckman LIB, Luermans JGLM, Curila K, et al. Comparing ventricular synchrony in left bundle branch and left ventricular septal pacing in pacemaker patients[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(4):822.
- [4] Huang W, Chen X, Su L, et al. A beginner's guide to permanent left bundle branch pacing[J]. *Heart Rhythm*, 2019, 16(12):1791-1796.
- [5] Liu X, Niu HX, Gu M, et al. Contrast-enhanced image-guided lead deployment for left bundle branch pacing[J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(8):1318-1325.
- [6] 谢小霜, 范洁. 左束支解剖结构对左束支区域起搏的临床指导意义[J]. *心血管病学进展*, 2020, 41(11):1196-1198, 1208.
- [7] Cabrera JÁ, Porta-Sánchez A, Tung R, et al. Tracking down the anatomy of the left bundle branch to optimize left bundle branch pacing[J]. *JACC Case Rep*, 2020, 2(5):750-755.
- [8] Padala SK, Cabrera JA, Ellenbogen KA. Anatomy of the cardiac conduction system[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2021, 44(1):15-25.
- [9] Demoulin JC, Kulbertus HE. Histopathological examination of concept of left hemiblock[J]. *Br Heart J*, 1972, 34(8):807-814.
- [10] Wu S, Chen X, Wang S, et al. Evaluation of the criteria to distinguish left bundle branch pacing from left ventricular septal pacing[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2021, 7(9):1166-1177.
- [11] Briongos-Figuero S, Estévez Paniagua Á, Sánchez Hernández A, et al. Redefining QRS transition to confirm left bundle branch capture during left bundle branch area pacing[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10:1217133.
- [12] Das A, Chatterjeet Das S, Mandal A. Left bundle branch area pacing: electrocardiographic features[J]. *J Arrhythm*, 2021, 37(5):1139-1147.
- [13] Shimeno K, Tamura S, Nakatsuji K, et al. Characteristics and proposed mechanisms of QRS morphology observed during the left bundle branch pacing procedure[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2021, 44(12):1987-1994.
- [14] Jastrzębski M, Kielbasa G, Moskal P, et al. Fixation beats: a novel marker for reaching the left bundle branch area during deep septal lead implantation[J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(4):562-569.
- [15] Ponnusamy SS, Ganesan V, Syed T, et al. Template beat: a novel marker for left bundle branch capture during physiological pacing[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2021, 14(4):e009677.
- [16] Lin J, Chen K, Dai Y, et al. Bilateral bundle branch area pacing to achieve physiological conduction system activation[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2020, 13(8):e008267.
- [17] 尹磊, 耿雪, 刘倩, 等. 左束支电位影响左束支起搏心电图参数的系统评价和 Meta 分析[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(11):1121-1126.
- [18] Jastrzębski M, Kielbasa G, Curila K, et al. Physiology-based electrocardiographic criteria for left bundle branch capture[J]. *Heart Rhythm*, 2021, 18(6):935-943.
- [19] Su L, Xu T, Cai M, et al. Electrophysiological characteristics and clinical values of left bundle branch current of injury in left bundle branch pacing[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2020, 31(4):834-842.
- [20] Chen K, Li Y. How to implant left bundle branch pacing lead in routine clinical practice[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2019, 30(11):2569-2577.
- [21] Wu H, Jiang L, Shen J. Recording an isoelectric interval as an endpoint of left bundle branch pacing with continuous paced intracardiac electrogram monitoring[J]. *Kardiologia Pol*, 2022, 80(6):664-671.
- [22] Jastrzębski M, Burri H, Kielbasa G, et al. The V_6-V_1 interpeak interval: a novel criterion for the diagnosis of left bundle branch capture[J]. *Europace*, 2022, 24(1):40-47.
- [23] Qian Z, Wang Y, Hou X, et al. A pilot study to determine if left ventricular activation time is a useful parameter for left bundle branch capture: validated by ventricular mechanical synchrony with SPECT imaging[J]. *J Nucl Cardiol*, 2021, 28(3):1153-1161.
- [24] Zhong J, Zheng N, Jiang L. Evaluation of the shortening of the stimulus-to-peak left ventricular activation time at continuous low output to confirm left bundle branch capture[J]. *Heart Rhythm O2*, 2022, 3(4):351-357.
- [25] 蔡彬妮, 李琳琳, 孟凡琦, 等. 左束支起搏术中心电特征及中远期导线参数评价[J]. *中华心律失常学杂志*, 2019, 23(5):417-423.
- [26] Zhu K, Li L, Liu J, et al. Criteria for differentiating left bundle branch pacing and left ventricular septal pacing: a systematic review[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9:1006966.
- [27] Vijayaraman P, Jastrzębski M. Novel criterion to diagnose left bundle branch capture in patients with left bundle branch block[J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2021, 7(6):808-810.
- [28] Qian Z, Xue S, Zou F, et al. New criterion to determine left bundle branch capture on the basis of individualized His bundle or right ventricular septal pacing[J]. *Heart Rhythm*, 2022, 19(12):1984-1992.
- [29] Briongos-Figuero S, Estévez-Paniagua Á, Sánchez-Hernández A, et al. Combination of current and new electrocardiographic-based criteria: a novel score for the discrimination of left bundle branch capture[J]. *Europace*, 2023, 25(3):1051-1059.
- [30] Jastrzębski M, Moskal P, Bednarek A, et al. Programmed deep septal stimulation: a novel maneuver for the diagnosis of left bundle branch capture during permanent pacing[J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2020, 31(2):485-493.

收稿日期:2023-10-28