继续教育讲座

牙髓诊断试验的临床应用

宋 琨 综述 梁宇红 岳 林 审 北京大学口腔医学院牙体牙髓科

摘 要

在牙体牙髓和根尖周疾病的诊治中，准确判断牙髓状态非常重要，它直接关系到对疾病的正确诊断、合理的治疗设计及对预后的准确估计。临床工作中对牙髓实施的冷测、热测和电测是将温度刺激或电刺激施加于牙齿硬组织上，牙髓组织中的Aδ神经纤维接受到刺激后会作出相应的反应，产生不同程度的痛感，据此，医生对牙髓状态做出判断。但此时患牙的反应仅指示其神经纤维的功能强度，并不能提供牙髓血流的信息，因此不能反映出牙髓的病理状态。近年来，发展出一些测定牙髓血供状态的新诊断方法，如激光多普勒血流测定仪、脉搏血氧饱和度测试仪，这些测试方法的结果更能真实地反映牙髓的病理状态，但仍需结合病史、临床检查、X线片检查来综合判断牙髓状况。本文通过回顾牙髓诊断试验的文献，对各种方法的原理、临床应用、可靠性及安全性进行综述，旨在为临床实践提供有益的参考。

关键词 牙髓诊断试验；牙髓病理变化

在牙体、牙髓和根尖周疾病的诊断过程中，医生对牙髓状态的判断直接关系到对疾病的诊断、治疗设计和对预后的考虑。理想的牙髓诊断试验方法应客观、标准化、可重复，还应无痛、无创、简便而又价格低廉。目前临床工作中广泛采用的牙髓诊断试验包括温度试验和电试验。但试验施加在牙齿硬组织上的刺激，无论是冷、热还是电流，作用的部位均是牙髓的神经末梢，患牙的反应也仅指示其神经纤维的功能强度，并不能提供牙髓血流的信息。所以，现有的牙髓诊断试验方法尚不能准确判断牙髓的病理状态，其基本功能是鉴别牙髓是死是活。

要理解牙髓诊断试验的原理和结果，必须了解牙髓神经分布与支配的特点。牙髓神经主要由感觉传入神经和交感神经组成。感觉传入神经来自三叉神经，主要传导感觉刺激；交感神经来源于颈上神经节，主要调节牙髓血液微循环。牙髓神经通过根尖孔成束进入根髓后，被许旺细胞（Schwann cell）包裹，与血管伴行。牙髓神经束在牙髓-牙本质交界处分支，于成牙本质细胞层下方的无细胞层内形成只有单个神经轴索的神经丛，即Rashkow丛。终末轴突最终从许旺细胞中穿出，成为游离的神经末梢穿行于成牙本质细胞之间。

牙髓中的感觉神经纤维有两种：有髓鞘纤维（A纤维）和无髓鞘纤维（C纤维）。A纤维的末梢主要位于牙髓-牙本质界，C纤维的末梢分布于全部牙髓（图1）。A纤维中约90%是Aδ纤维，其余为Aβ纤维。Aβ纤维对刺激的敏感程度略高于Aδ纤维，Aδ纤维比C纤维的刺激阈值低。机械刺激、短暂温度刺激可引起牙本质小管液的流体力学效应，电刺激也会导致牙本质小管液内离子移动。Aδ纤维

图1 牙髓神经纤维分布

感受到这些刺激后，可将其直接传导至丘脑，产生快速、可定位的锐痛；C纤维阈值较高，被牙冠部强烈的温度刺激（主要是热刺激）和电刺激激发，受中间神经元、炎性因子及血液流量改变的调控，兴奋传导至丘脑，所产生的疼痛为持续的、不易定位的钝痛，而且可放散至颌面部。Aδ纤维在缺氧条件下会丧失传导功能，C纤维更易受到牙髓血流减少的影响。

一、牙髓诊断试验

牙髓诊断试验是目前临床工作中应用最为广泛的测试牙髓状态的方法。原理是在牙冠外表面给予短暂的刺激，通过测试牙的反应来判断牙髓-牙本质复合体中Aδ神经纤维的完整性。Aδ神经纤维感受到刺激，患牙会产生明确而短暂的刺痛。测试结果表明Aδ神经纤维是有功能的，但并不提示牙髓血供情况如何，也不能表明牙髓是否有所损坏。如果失去血供，牙髓会很快坏死，Aδ神经纤维失去功能。牙齿外伤后的情况比较特殊，虽然牙髓仍有血供，但Aδ神经纤维可能会暂时或永久失去功能，临床称其为“牙髓休克”。

（一）牙髓温度试验

牙髓温度试验是在牙冠表面局部施加冷和热刺激，通过观察牙齿的反应来判断牙髓的状态。健康的牙髓在受到冷、热刺激的过程中以及移除刺激后几秒内会出现局限的锐痛或麻刺感。如果移除刺激后反应持续超过半分钟，通常认为牙髓处于炎症状态。如果患牙对冷、热刺激没有反应，则认为牙髓处于坏死状态。但是这些试验结果并非绝对，不能仅凭一项测试结果轻易作出诊断。

1.冷测

冷刺激会引起牙本质小管液收缩，导致开放的牙本质小管内的液体快速向外流动，产生“液体压力”，激活牙髓-牙本质复合体中Aδ神经纤维的机械刺激感受器，出现锐痛或麻刺感。如果反复施加冷刺激，会减慢牙本质小管液的移动速度，表现为牙髓短时间内对刺激的敏感程度降低，出现牙髓冷刺激耐受的现象。

冷测是临床使用最多的牙髓测试方法。理论上，冷测应该和电测结合使用，这样两种试验结果可以相互验证。如果一颗牙根发育完成、没有受到外伤的牙齿对冷测和电测都没有反应，通常认为牙髓已经坏死了。值得注意的是，多根牙即使只有一个牙根内有活髓，冷测结果也可能正常。

冷测可以辅助鉴别可复性牙髓炎和不可复性牙髓炎。如果患者在试验时立即出现一过性疼痛反应，刺激去除后疼痛消失或持续数秒后消失，结合病史可以考虑牙髓可能处于可复性炎症状态；如果疼痛反应程度较重，刺激源去除后疼痛仍持续一段时间，则表示牙髓有不可复性炎症。

提供冷源的材料有多种，区别在于施加在牙齿表面冷刺激的温度。可以使用自制小冰棒（小冰棒可在一端封闭的5～6cm长的塑料管内注满水垂直放置于冰箱冷冻室内制成）放置于被测牙的完好釉面上（图2），观察对照牙与主诉测试牙的反应。干冰棒（沸点-78℃）（图3）对有金属全冠修复体的牙齿进行冷测尤为有效。Rickoff等报道干冰棒在牙面上放置

图2 自制小冰棒用于冷测

5min 不会对牙髓的健康和釉质表面造成损害。还可以将氯乙烷（沸点 -4℃）或二氟二氯甲烷（沸点 -50℃）（图4）制成压缩喷雾喷洒在棉签上形成冰晶置于被测牙面。有一些不含氟氯烃不破坏臭氧层的喷雾剂近来也应用于冷测。也有报道用冰水进行测试患牙，测试时需用橡皮障进行隔离，用注射器滴注冰水（图5）。研究指出，冷刺激的温度越低测试结果越可信，这可能与温度降低的速度有关。

冷测时，受试牙出现反应后应立即停止冷刺激。如果测试到15s时，受试牙仍未有反应，也应当停止冷刺激。冷测应当遵循从后牙到前牙的顺序。这样可以避免融化的冰水向后牙流动干扰试验结果。

图5 橡皮障隔离后滴注冰水

图3 干冰存储及干冰棒压制装置

图4 Endo-Frost 二氟二氯甲烷

2. 热测

热测的方法通常是将牙胶棒的一端在酒精灯上烤热至变软但不冒烟燃烧的状态（约65℃～70℃），立即置于涂好凡士林的被测牙表面（图6～8），观察受试牙的反应。这种方法由于入路的限制，后牙的应用较前牙困难。也有在橡皮障隔离受试牙的条件下，用注射器滴注热水的方法，还见有用橡皮杯打磨牙面，通过摩擦生热进行热测，但后两种方法并不作为临床推荐的常规方法。

临床采用热测时应注意热刺激温度过高会造成牙髓损害。长时间的热刺激会先后激发牙髓中的Aδ纤维和C纤维，导致持续疼痛。所以，热刺激时间不应该超过5s。如果牙胶棒加热不充分，热刺激强度不够，则不能引发牙髓神经的反应。关于热测的安全性研究指出，采用正确方法进行热测并不会对健康的牙髓组织造成损伤。

（二）牙髓电试验

电测主要是通过在牙齿表面施加电流刺激，牙本质小管液内的离子产生移动，使牙髓-牙本质复合体中完好的Aδ纤维局部去极化，随后达到动作电位，引起牙髓反应。1867年Magitot在他的著作"Treatise on Dental Caries"中最早将电流试验介绍到口腔临床。

1. 电测的工具和方法

牙髓电测仪（图9）有内置电池，测试时通过一个探针式电极与被测牙表面相接。测试时需形成电流回路，让患者握着探针柄的远端或者给患者戴一

图6～8 热牙胶棒用于热测

个唇钩，唇钩末端与探针柄的远端相连。牙髓电测仪工作时开始先产生很小的脉冲电流刺激，然后按照预设的速度逐渐加大电流刺激强度，在仪器的显示屏上可以直观的读出电流刺激强度。当患者有麻刺感时撤离探针或嘱患者松开握着的探针柄，此时的读数值即为被测牙的电测数值。该读数值并不能定量反映牙髓的健康状态，只能表明Aδ纤维还有功能。

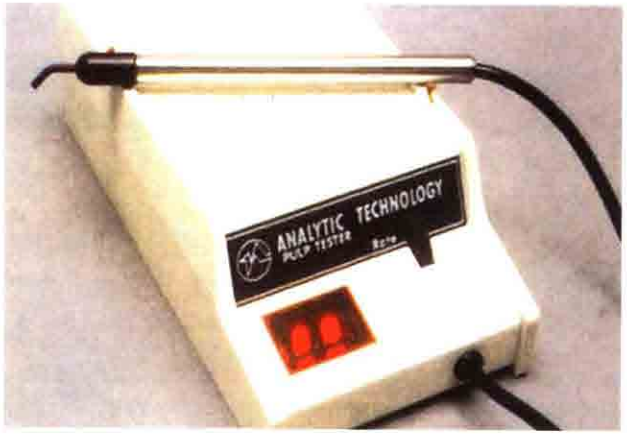

图9 牙髓电测仪

牙髓电测仪在使用时需注意刺激强度适当，电极放置要正确，还要认真地分析电测结果。被测牙应该充分吹干，并与唾液隔离，避免邻牙或牙周膜导电影响测试结果。电极应垂直放置于被测牙面以保证电极与牙面之间有最大的接触面积（图10）。还可以用纤维条或橡皮障隔绝受试牙与邻牙。对于有全冠修复体或戴有正畸矫正器的患者，不宜进行电测，电流有可能通过金属修复体与邻牙的接触或正畸矫正器而传导至邻牙、牙龈和牙周组织而造成假阳性结果。对于有大面积冠部修复体的牙齿，需要使用一种更小巧的探针电极，它可以利用修复体边缘处轻微的牙龈退缩而与牙齿表面直接接触。正在接受正畸治疗的患者在电测前应取下弓丝。

图10 电测

电测时，应当在探针电极与受试牙面之间放置导电介质，常用的有牙膏、导电凝胶或润湿的纸片等。Martin等通过实验研究指出，电极与牙齿之间的导电介质对电压和电流传导没有显著的影响，但不同的导电介质却可能影响电测结果，导电能力较弱的介质可能会增加活髓牙电测时出现假阴性结果的可能性。

2．可能影响电测结果的问题

（1）在二三十年前还见到关于电测时操作者是否可以戴手套的讨论。1977年King等报道戴橡胶手

套可以有效地进行电测操作，但是测试结果的数值会偏高。另一项研究结果发现橡胶手套并不会影响电测的结果。Treasure则认为橡胶手套在测试中相当于一个电容的作用，会影响电测仪的电量输出。目前，在接诊病人操作过程中，医生戴手套以防止交叉感染已经成为诊疗常规要求，电测时一般是由患者手持电极柄的金属端或使用与电极相连的唇钩，以此形成电流回路进行操作，很好地解决了医生戴手套的问题。

（2）牙髓诊断试验测试头放置的位置文献中各有不同。理论上，刺激神经分布密度较高的区域应该有相对较快、较强的反应，同时所需的电流刺激强度也较低。在牙本质中，神经的分布密度是不一致的，近髓角处密度最高，沿着牙冠两边逐渐减低，在牙根部密度最低。所以当电极置于牙齿表面接近髓角的区域，所需电流刺激强度小，可避免激发C纤维产生持续疼痛。Bender等研究表明，对于切牙，其切缘处的电刺激阈值最低，在该处施加最小的电流刺激即可产生反应，从切缘到牙颈部阈值升高。但也有人指出部分切牙切缘釉质磨损缺失，不适合放置电极。Lin等2007年的一项研究表明，对于磨牙最佳的测试位点应为近中颊尖顶。因此，测试时，有人主张将测试头放在切端，理由是此处神经最密集，反应最灵敏，反对的意见认为此部位多有牙体组织的破坏，不能提供一个完整的表面；也有人主张将测试头放在颈1/3，因为此处牙体硬组织最薄，刺激易于传到牙髓，缺点是测试时容易碰触牙周组织；还有人建议将测试头放在冠中1/3处，此处牙体硬组织完整，但组织厚度相对较厚。无论怎样，临床工作时选择放置位置的原则不能变，即须放在完整正常釉质表面，且测试牙与对照牙的位置应相一致。

（3）1974年Wlloley等对一只装有心脏起搏器的狗进行实验发现牙髓活力电测仪会影响起搏器的工作，导致起搏器的频率固定在某个频率。因而，教科书将装有起搏器列为电测的禁忌证。但随着心脏起搏器技术进步，抗干扰能力增强，有不少学者对这一问题进行了体外试验，表明电测仪不会影响心脏起搏器工作。2006年Wilson等也有一项体内研究对27例植入心脏起搏器或者心脏除颤复率器的患者进行牙髓电测，结果表明电测仪未对起搏器和复率器造成任何干扰。

二、牙髓诊断试验结果的局限与不足

（一）牙髓诊断试验结果的真实性

1.假阳性结果

牙髓诊断试验的假阳性反应是指牙髓已坏死的患牙对测试刺激表现出了阳性反应。出现假阳性结果的原因可能有：

（1）焦虑：Bender等指出精神焦虑的患者往往会产生预想到不舒服的感觉。

（2）牙髓液化性坏死：根管内部分牙髓液化性坏死的产物可能会与电测仪形成一个电流通路，从而表现为假阳性结果。

（3）电流通过牙龈牙周组织形成回路：若被测牙有金属修复体且与牙龈、牙周组织有接触，则会出现假阳性结果。同样，如果被测牙测试前隔湿不充分也会如此。

（4）复杂根管系统内牙髓未全部坏死：被测牙为多根牙时，根管内的牙髓可能并未全部坏死。此时，被测牙仍有可能表现为结果正常。

2.假阴性结果

牙髓测试的假阴性结果是指活髓牙对测试未表现出阳性反应。可能的原因有：

（1）牙根发育不完全：牙根发育尚未完全的牙对测试的阈值较高，需要比牙根已发育完成的牙更强的刺激才能有反应。这种情况下，研究发现冷测结果比电测更为可信。

（2）近期外伤牙：近期受过外伤的牙对冷热测和电测可能会无反应或反应很弱，这是牙髓损伤的一种表现，并不能推定牙髓坏死。这种情况多发生于年轻恒牙。因此牙外伤后牙髓活力测试无反应时不应立即做牙髓治疗，应定期观察、诊断明确后再行处理。

（3）近期正在进行正畸治疗：正畸治疗过程中牙齿根尖部的移动可能会导致牙髓血供受阻，使被测牙对刺激的阈值升高。

（4）精神失常：精神失常的患者对牙髓活力测试可能会没有反应。

（二）牙髓诊断试验结果的敏感性和特异性

1.敏感性：采用金标准诊断为“患病”的病例中，诊断性测试结果为阳性例数的比例，反映测试方法能够正确判断是否罹患某种疾病的能力。牙髓活力测试的敏感性表示测试方法识别死髓牙的能力。

2.特异性：采用金标准诊断“无病”的例数中，诊断性测试结果为阴性的比例。特异性反映了测试方法能够正确排除某疾病的能力。牙髓活力测试的特异性表示测试方法识别活髓牙的能力。

3.阳性预测值：诊断性测试检查结果全部阳性例数中，真正“患病”患者（真阳性）所占的比例。

4.阴性预测值：经诊断性试验测试，全部阴性的例数中“无病”者（真阴性）所占的比例。

5.准确度：诊断性试验检测结果中真阳性和真阴性例数占总检查例数的比例。

Petersson等对75颗牙分别进行冷测（氯乙烷）、热测（热牙胶棒）和电测（Analytic Technology电测仪），并与开髓后直视下检查牙髓状态的结果进行比较，准确度为冷测86%，热测71%，电测81%（表1）。Gopilrishna等对80颗单根牙分别进行冷测（四氟乙烷）、电测（Parkell电测仪）和脉搏血氧仪（OxiMax 550脉搏血氧仪，OxiMax Dura-YD-YS多位点氧传感器，血氧仪牙科探头）测试，同样与开髓后直视下检查牙髓状态的结果进行比较，准确度分别为冷测86%，电测81%，脉搏血氧仪测试97.5%（表2）。

上述研究结果提示，冷测和电测是两种准确度比较高的测试方法，但仍有误诊和漏诊的可能，如果能够检测出牙髓的某种生理指标，才可能反映出牙髓的病理状态。

三、牙齿生理指征诊断试验

（一）牙冠表面温度

牙冠表面接受一定的热量，并与牙冠周围的口腔环境进行热量交换。在控制环境条件的情况下，健康活髓牙的牙冠表面的热量主要有以下几个来源：牙周组织传递的热量、牙髓血液供应循环中所携带的热量、牙髓新陈代谢所产生的热量。而对于死髓牙，则只能通过牙周组织的热传递途径。Fanibunda等研究发现，牙髓中血供循环比牙周组织传递更能有效的维持牙冠表面的温度。因此，相似牙齿的表面温度间的差异，与牙髓血液供应状态和新陈代谢状态有着一定的关系。

近年发展的测试牙冠表面温度的方法有：热电偶、红外线温度计、微型温度计、热敏电阻、红外线温度记录和胆甾醇结构液晶等，均尚未应用于临床。

（二）激光多普勒血流测定仪（Laser Doppler Flowmetry，LDF）

激光多普勒血流测定是一种无创的检查方法。LDF的探头由数根光纤构成，其中1根光纤发射激光，定向投照到牙齿上，先后通过釉质、釉牙本质界和S型牙本质小管到达牙髓。当激光照射到运动物体上（如血细胞）时，根据多普勒原理，其反射光的频率将发生变化，称为频率漂移。另外有光纤接收发生频率漂移的反射光，可以得到发生频率漂移的比

表1 冷测、热测和电测的敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值

测试方法	敏感性	特异性	阳性预测值	阴性预测值
冷测	0.83	0.93	0.89	0.90
热测	0.86	0.41	0.48	0.83
电测	0.72	0.93	0.88	0.84

表2 冷测、电测和脉搏血氧仪测试的敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值

测试方法	敏感性	特异性	阳性预测值	阴性预测值
冷测	0.81	0.92	0.92	0.81
电测	0.71	0.92	0.91	0.74
脉搏血氧仪测试	1.00	0.92	0.92	1.00

例及大小、反射光的强度等信息，将所得信息经过处理则可以得到形象直观的测试结果。如采用快速傅氏变换分析可以发现得出血流波峰时间与脉搏之间的关系。LDF检测方法能客观、可靠的反映出牙髓血流状态。但这项技术应用时有一定的条件限制，仪器笨重，且需用硅橡胶印模材对受试牙列制作橡胶夹板（图11）。Gazelius等1988年报道了一例11岁男孩4颗下切牙外伤脱位1周后LDF显示无血流波峰，6周后LDF证实牙髓血流部分恢复，9个月后显示血流正常。同等进行电测，直到外伤9个月到1年后患牙才显示对电测才有反应。在牙外伤复查随诊过程中LDF方法可及早判断牙髓状态，LDF已有商品化仪器，但其价格昂贵，尚未应用于临床检查。

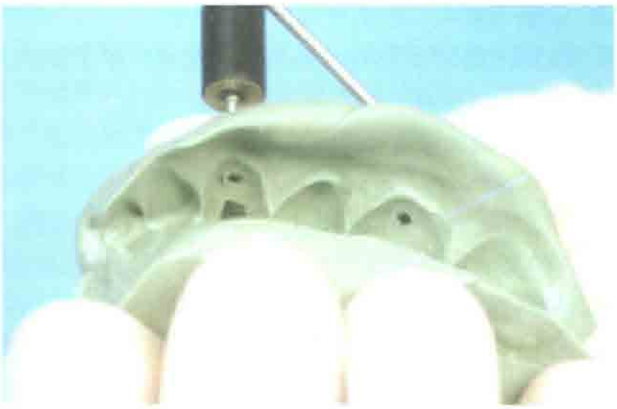

图11 LDF个性化硅橡胶夹板

（三）脉搏血氧仪（pulse oximetry）

脉搏血氧仪的光电二极管发出两种波长的光，穿过机体后至接收器，探测氧合血红蛋白及去氧血红蛋白，通过光的吸收率可计算出血氧饱和度。当高氧动脉血变为低氧静脉血时，光的吸收发生转换，又可计算出脉率。Gopilrishna等使用个性化牙科探头对80颗单根牙分别进行冷测、电测和脉搏血氧仪测试，与开髓后直视牙髓状态的结果进行比较，脉搏血氧仪测试方法的敏感性为1.00，特异性0.92，准确度为97.5%，均高于冷测和电测（表2）。脉搏血氧仪虽早已应用于临床医疗工作，但尚未在口腔临床工作中应用。

小结

准确判断牙髓状态在诊断牙髓病的临床实践中至关重要，牙髓诊断试验是有效的测试手段，已被广大口腔科医师广泛采用，但是它所存在局限和不足必须引起临床医生的注意和重视，以求指导临床医生规范地实施操作，客观地解释测试结果，最终获得正确的诊断。随着科学技术的发展，一些通过检测牙髓血供情况的测试方法可能会弥补经典试验的不足。

《口腔颌面种植中的骨增量技术》本书为目前最为详细介绍骨增量技术的专著，作者为世界知名口腔种植修复专家，他们根据自己多年的经验编写而成本书。书中内容包括：切取移植骨块、萎缩无牙颌骨重建、牙列缺损的骨增量技术、骨增量的生物学与种植体骨结合等。全书内容精炼，结构合理，并配以大量图片，以方便读者的阅读和理解。本书适合口腔种植医生、修复医生、全科医生的临床学习、参考之用。

主译：王远勤　唐尤超　审校：宿玉成　周　磊

出版日期：2009年11月　定价：138元

购书方式：北京市复兴路22号，甲3号，人民军医出版社国际口腔医学出版中心，杨淮（编辑），邮编：100842，Email：pumcp@126.com，电话：13521457428