

译 文

骨的自然频率作用作为检测骨折愈合的指南

中国中医研究院骨科所 王柯慧译 王以慈校

摘要: 本文利用扩音拾音器与骨近远侧端相连记录其输出,对在体和离体的正常骨及骨折骨的自然频率进行了研究。由阴极射线示波器对不同应力波频率显示其最佳输出时确定其自然频率。通过对25例病人在体正常骨与骨折骨的骨折大小及愈合情况的判断进行了比较研究。与正常骨比较,损伤骨的自然频率及声音强度是降低的,而输出电压则升高了。本研究报道了一种简单,可靠,快速的评价骨折的方法。

前 言

近30年来,利用应力波传播技术,对骨的力学及声学特性进行了测定并用于诊断骨折。通过脉冲及频率发生器对骨刺激,单个加速器及应变仪对骨的振动反应进行研究。双加速器也曾用于测量骨振动反应。然而因为这些方法没有在体骨充分的理论模型及重复性,结果都未被临床采用。超声方法也曾用于检测骨疾病,使用皮肤超声传感器测量骨应力波反应,但由于横过骨折部位的超声脉冲波的延迟是如此之小,以致不能产生一个适当的超声速度改变,此技术也未应用到实际中去。过去所用的直接的或间接的确定骨自然频率的方法,其中大多数均费用昂贵,操作费时,复杂而繁琐。

目前应力波传播技术已有所发展,且用于骨折愈合的监测。由作者改进的扩音拾音器对骨应力反应进行监测,并对体外的骨声波传播也进行了研究,但增加了人为因素。用此方法,对通过骨折部位的声传播参数也进行了测定。

已测定出骨折端的自然频率,这对于评价骨折愈合是很有用的。同时对不同应力波频率的最佳输出频率也作了测定。

本技术用于25例病人骨折愈合的监测。在

离体标本实验中,人为控制骨折的大小,与正常骨比较,骨折骨的自然频率降低。这也可作为临床快速检查法对在体骨折愈合期的参考。

材料和方法

实验室方法: 十二只动物胫骨(主要是母牛,水牛及山羊)用于测量。新鲜及干燥样品均被使用。

本研究的实验设计,由电子机械振荡器(型号 **EVG No.950052**,陆军工业电子有限公司)产生应力波通过骨,电子输出被送到激放大器(型号 450,陆军工业电子有限公司),用两个与骨近远侧末端相连的扩音拾音器进行监测。阴极射线示波器(双导,飞利浦, **PM 3205**)可显示骨两端的输出。当扩音拾音器的输出幅度为最大时,该频率则定为骨的自然频率。

测量在十二只动物的胫骨上进行。首先测出正常骨的自然频率。然后利用手锯人为造成骨折后再测其骨折骨的自然频率。使用手锯刀片可避免因电骨锯高速所致温度的升高而引起骨结构的改变。锯下的骨折片厚度保持在 **2.5mm**,切割深度逐渐增加。当切割深度分别为骨横截面直径的25%、50%、75%时,测其自然频率。结果发现,随着切割深度的增加,自然频率也明显不同,用耳机也可注意到声音强度的区别。

临床方法: 在印度 **Adya** 矫形医院用同样的方法测定正常骨及骨折骨的自然频率。用上述电子机械振荡器产生的声音信号与骨表面相接触并使之通过骨。由两个扩音拾音器连于骨的近远侧端并记录其声音。在阴极射线示波器及耳机上扩音器的输出以测定输出信号的频率

及强度。骨的下列部位用于本研究：

股骨颈骨折，胸片放于耻骨联合，比较并记录来自两侧膝盖的声音，5例。股骨干骨折，胸片放于大转子处，声音产生于膝盖或外踝或反之，5例。胫骨骨折，胸片放于内踝，声音产生于胫骨结节或反之，4例。腓骨骨折，胸片放于外踝，声音产生于腓骨小头或反之，4例。肱骨骨折，胸片放于肩突，声音产生于外踝或反之，4例。桡骨骨折，胸片放于桡骨小头，声音产生于茎突或反之，3例。

结果及讨论

正常骨近远侧端的频率反应曲线频率图表明骨近远侧端的自然频率是不同的。10个胫骨所测定的自然频率中有4个胫骨近远侧端的自然频率是相同的。

骨折骨的自然频率曲线。图表明近远侧端的自然频率均降低，骨近侧末端由于附着大块肌肉及软组织因而更坚硬，声波更容易传播。骨折骨近远侧端的输出频率也是降低的。用耳机监测骨折骨的声音强度也减弱。骨折骨声音强度及自然频率的降低是由于骨折节段紊乱所致。与正常骨比较，对骨折骨自然频率变化的观察可作为监测骨折及骨折愈合研究的指南。

有些学者所使用的取决于频率范围分析的直接的及间接的方法由于需要贵重的仪器，复杂且费用昂贵。本研究的输出记录只需借助一个阴极射线示波器及任一其它电子监测系统即可被监测及分析。

25例病人的临床研究，观察到通过骨折骨的声传播强度降低，且特征性低沉而模糊，而正常骨的强度较高且特征性明显。对损伤骨及未损伤骨进行了自然频率的测量。同时发现骨折骨的输出电压高于正常骨，骨折骨输出电压的增加是由于骨折易屈曲的部位声传播产生共鸣所致。重复几次的结果大约有0.5%的差异。

在石膏期，若骨折愈合作为时间的函数，（或自然频率的改变作为时间的函数）正常骨和骨折骨频率响应的差别变小，声音强度的区

别变大。当损伤骨的自然频率及强度与未损伤骨的自然频率时，这可预测骨折部位已完全愈合。然而我们也观察到本方法不适用于细丝状骨折，因其自然频率的改变是如此之小以致不能监测到。

安放扩音拾音器于特定部位，可检测股骨颈，股骨干，胫腓骨骨折。5例股骨颈骨折，仅一例因骨折陈旧且为嵌入性，病人在损伤侧负重而检测结果阴性。5例股骨干骨折结果阳性。其它长骨如胫骨、腓骨、肱骨、尺骨、桡骨所有病例，声诊断结果均是肯定的。

关于皮肤装置的扩音拾音器对软组织的效应也进行了研究。皮肤厚度自2—10mm不等。皮肤对扩音拾音器的反应取决于预负荷及信号频率。当频率给定时，扩音拾音器反应结果有0.8%的差异。当用更大的预负荷按扩音器时，其输出也增加。为了避免误差，操作时，用特制皮带把扩音拾音器固定于骨以维持恒定的压力。从皮肤插入带有刻度的针到骨可测其软组织的厚度。实验时，在正常骨及骨折骨的相同部位放置扩音拾音器，这样皮肤厚度所造成的差异减小，因此时比较组织厚度认为是相同的。

本方法不需要复杂及昂贵的设备。与以前所用的加速器，应变仪，超声传感器比较，用扩音拾音器研究应力波是有很大的改进。此方法允许在骨修复研究中作为一种快速的临床检查法，且简单，可靠，费用低。也能缓解医院放射科的负担，且用不着把病人暴露在有害的X光下。

有关输出期使用频率计算器及耳机对骨折声学诊断仪开发的系统研究正在进行。利用扩音拾音器也可对输出信号的强度及频率进行分析。

小 结

本文对正常骨及骨折骨的声传播特性进行了研究。当骨对不同应力波频率的反应有最佳输出时，此输出频率定其为骨的自然频率。本声学诊断法在25例临床病例中24例实验结果附

（下转22页）

遂转入我院。患者既往身体素健,无其他外伤及腰背疼痛病史。检查: T₈、T₉棘突压痛(+),叩击痛(+),脐至脐下2 cm间为痛觉减退区,脐下2 cm以下痛觉与触觉消失,双下肢深感觉消失。下肢肌力:左侧0级,右侧0~1级。双膝跟腱反射亢进,踝阵挛(+),Babinski征(+),Shaddock征(+),腹壁反射、提睾反射存在。CT扫描报告:“T₈₋₉椎管内占位,有一高密度影,大小1.0×0.5cm,考虑椎间盘突出可能性大”。

入院后即在连续硬膜外麻醉下行手术探查,切除T₈、T₉全椎板,见该处硬脊膜水肿,无脊髓搏动,T₈₋₉间隙后方可触及一弹性肿物,突入椎管,压迫脊髓。用神经剥离器轻轻牵开脊髓与神经根,充分暴露突出的椎间盘,由于椎间盘受挤压,发白的髓核自破裂口处如挤牙膏似地自行逸出,取出椎间盘组织共约0.6×1.2cm大小,但硬膜搏动仍不明显,导尿管插入探查,椎管上下通畅。术前、术后予以激素、脱水、抗炎、止血等措施,伤口一期愈合。术后还配合口服中药、针灸和按摩等方法。中药分为三期辨证:早期(术后2周内),予以活血化瘀,行气止痛,方用:归尾12克、川芎9克、赤芍9克、制乳香6克、制没药6克、地鳖虫6克、红花6克、泽兰6克、牛膝9克、乌药9克、威灵仙9克。中期(术后3~6周),予以活血续筋、和营生新,方用:归尾12克、川芎9克、白芍9克、赤芍9克、制乳香6克、制没药6克、川续断12克、牛膝9克、骨碎补12克、生地黄12克。后期(7周以后),予以养气血、补肝肾,方用:当归12克、白芍9克、党参15克、白术9克、黄芪15克、川续断12克、杜仲12克、牛膝9克、桑寄生12克、丹皮9克、五加皮10克。针灸主穴取华佗夹脊、足三里、委中,配穴取血海、梁丘、阳陵泉、三阴交、解溪、环跳、承筋、承山、昆仑。每日选1~2个主穴,3~4个配穴。此外,在腰背部、双下肢每日施以按、摩、

推、揉、擦、滚、摇等理筋手法。术后三个月,左侧下肢触觉已恢复正常,右侧下肢触觉稍减退,脐下痛觉稍减退,双下肢肌力提高,左侧达2~3级,右侧达3~4级;二便功能已恢复正常;膝反射与跟腱反射仍亢进,踝阵挛(+);患者可扶拐下地行走。

讨 论

(1) 胸椎间盘突出症临床较罕见,其表现与椎管内肿瘤、炎症感染、骨质增生及外伤性截瘫等类型相似,故术前作出临床诊断比较困难,需结合病史(损伤)、临床表现(神经根或脊髓受压)及X线检查(脊髓造影或CT)综合分析。

(2) 中央型或旁中央型有脊髓受压者,一旦诊断确立,应急诊手术。胸段椎管较小,发生椎间盘突出后,容易直接压迫脊髓,同时由于脊髓前动脉或根动脉受压,而导致脊髓缺血、坏死,使截瘫难以恢复。本病例曾辗转两处医院,发病三天后才转入我院,故延误了手术时间,虽经精心治疗,术后两个月尚未能完全恢复肢体功能。

(3) 术后配合中药、针灸、按摩及功能锻炼,可提高疗效。

(4) 椎间盘切除时是否经硬脊膜内进行?各家意见不一。有人认为,切开硬脊膜容易造成脊髓或神经根粘连,故主张尽可能在硬膜外摘除突出的髓核;有人认为硬脊膜内手术暴露好,对脊髓损伤少,故主张应经硬脊膜内进行。本例在硬膜外探查时,髓核即从破裂口逸出。故我们认为:可先行硬膜外探查,若能充分暴露突出的椎间盘,即在硬膜外摘除;若暴露困难,不要勉强,可改为硬膜内手术。

(上接48页)

性。与正常骨比较,骨折骨的声音强度及自然频率降低,而输出电压增高。因此本方法可作为骨折愈合研究的基础。

(摘自《生物医学工程》1989,11:457-461)