

中西医结合治疗胫腓骨骨折 临床负重力的生物力学研究

(中国中医研究院骨伤科研究所)

孟北江 高瑞亭 指导 尚天裕

中西医结合治疗骨折的观点认为对骨折的整复固定只是为骨折愈合创造条件，骨折能否较快的愈合，关键在于功能活动。而功能活动以恢复肢体的固有生理功能为中心，小腿则以增强其负重步行能力为中心。在治疗胫腓骨骨折的过程中，除观察卧床牵引阶段中的有步骤的功能活动的作用外，并测试分析了20例病人下地负重力的静动态变化情况，提供一些生物力学参数，对临床治疗是有所帮助的。

1. 测力鞋的研制：

(1) Franrel 指出了足的负重特征：

在正常站立时足与地面相接触的那部分，大约载荷的50%由足跟承担，50%是经跖骨头传递的，第一跖骨头的载荷是外侧四个跖骨头每个载荷的两倍，这样第一跖骨头平均分担前足的剩余载荷。行走中载荷大多数是通过第二跖骨头来传递的。⁴³

根据这个原理，测力鞋由三个微型测力

传感器组成，跟骨处放置一个传感器，前足放置两个传感器。这与 Ranu 设计的一种微型传感器组装的测力鞋是基本相符的。他的测力鞋装三个传感器，前足三个，跟骨处二个，这样可测试出“足部中心的力值”。⁴⁰

(2) 制作工艺：

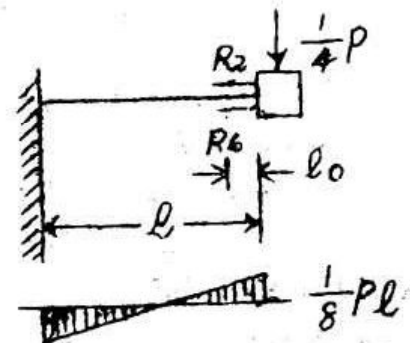
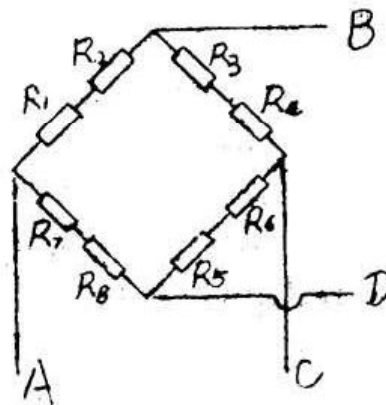
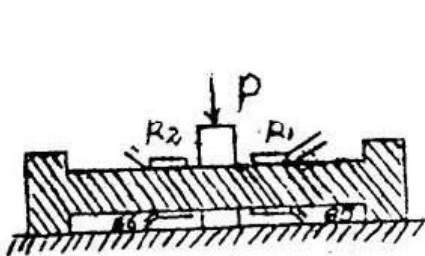
a) 弹性元件：采用轮幅式的弹性元件，材料为不锈钢(30NiCr MO)，尺寸：外径27mm，内径25mm，高6.5mm，幅条宽4mm，厚2.5mm(如图A)。

轮幅式弹性元件的每根轮幅可简化为图B的计算简图。在距离中间加力部分为L₀的截面上，其弯矩为：

$$M = \frac{P}{8} (L - 2L_0)$$

在L₀截面处的下(上)表面的应变为：

$$\Sigma = \frac{M}{E \cdot \frac{bh^2}{6}} = \frac{3(L - 2L_0)}{4Ebh^2} \cdot P$$



为对轴向载荷敏感并消除偏心负荷引起的误差，在四个轮幅的L₀截面上下表面都贴上应变片并组成全桥线路，它的读数应变与外力P的关系为：

$$P = \frac{Ebh^2}{3(L - 2L_0)} \Sigma$$

这种传感器精度高，线性好，抗横向力及偏心载荷的能力强。并且可以尺寸小，重

量轻,尤其高度小,适合于测力鞋的需要。⁶²

b) 应变片安装:

选用BF120—1AA型式电阻应变片,电阻值为120—0.2Ω灵敏系数 $2.11 \pm 1\%$,栅长×栅宽为1×1mm,贴片方法如同夹板传感器的方法。亦为热固化处理。

为了保证传感器的精度,又进行了温度选片,采用温度系数相同的应变片进行安装。

c) 联接组装:

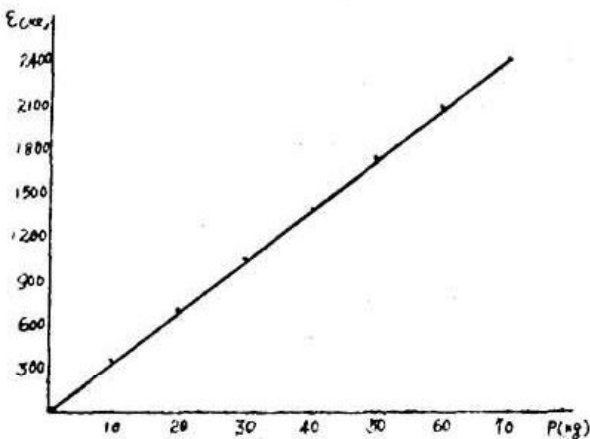
将各应变片引出线进行联接,并与标上A、B、C、抽头焊在接线端子上,与四种不同颜色的直径1mm长2m多股塑料软线相连,然后将焊好导线的弹性元件应变片及引线薄薄涂以硅橡胶以绝缘防潮处理。

d) 传感器的标定:

对制作好的传感器进行标定,并找出P值,与应变输出 Σ 的关系,以便进行力值的换算。传感器的应变输出采用RJD—1型静态电阻应变仪的读数反映。

在标定过程中根据误差传递理论,标定装置的精度应比被标定传感器的精度高一级,选用标准测力仪装置,加载卸载面额定载荷70Kg内分10Kg/次进行,并分别测定进程和回程的读数三次,算出平均值,给出标定曲线如图,换算常数 $K = \frac{P}{\Sigma}$ 。制作的传感器非线性、重复性及滞后均小于1%。

测力鞋底由合金铝板制成。长短可以调整。



4号 传感器标定曲线

(3) 测试仪器:

本组测试使用的是YJD—15型动态电阻应变仪,它具有灵敏度高,稳定性好,测量范围大等特点本仪器可测量8个应变信号,也可作静态测量。

在动态应变测量中,应变仪一般都不能直接将应变转换成随时间变化的电流或电压进行记录,需同时配用光线示波器(或X—Y记录仪)。示波器可多线、连续记录,记录精度较高。

病人脚穿测力鞋。稳步完成不同阶段的负重进程,通过力传感器、动态电阻应变仪和光线示波器组成的测力系统精确地记录病人的周期性动态应变波形和记录包含静态分量的动态应变波形。通过数据处理计算得出动态负重的力学参数。

(4) 准备工作:

a) 仪器调试:YD—15电阻应变仪电压220V,衰减挡×10,应变范围1000Ae,逐点调试电容电阻平衡;SC—16光线示波器选择振子频率均为1200,并注意振子位置的顺序与光点排列的顺序一致,纸速选择为25mm/S加以分辨线标定值取应变为1000μ

$$\Sigma \text{挡范围, } \Sigma_{\text{标}} = \frac{1000 \mu \Sigma}{h(\text{mm})} \quad K_{\text{传}} = \frac{P}{\Sigma}$$

$$P = K - \Sigma_{\text{标}} \times H_{\text{测}} = K_{\text{传}} \times \frac{1000 \mu \Sigma}{h(\text{mm})} H_{\text{测}}$$

b) 为了检验测力鞋的实测效果,对正常人进行了负重测试,误差在0.4~1%。

2、静态负重力检测:

下肢的主要功能为负重,其负重能力大小可显示骨折修复的程度。在20例病人静态负重力值的测试,以不产生疼痛的最大负重力为记录标准。⁶⁰

Meggitt 提出一个骨折强度恢复过程的功能测定法,即“10秒稳定站立试验”。⁶¹借鉴这种方法让病人穿好测力鞋,双下肢垂直站好,在初期病人扶双拐,取患肢耐受无痛性负重的状态,达到最大限度后维持10秒

钟。单拐、去拐皆此种方法。患者一般从三、四周开始，每周测试一次。并根据测试的结果，病人负重的能力，X光片的分析，逐步改为单拐、去拐，骨折达到临床愈合时去板。骨

折临床愈合标准采用1961年中西医结合治疗骨折学术会议拟定的“骨折愈合试行标准”。

测试结果：

(1) 骨折类型和负重力值(见附表)。

胫腓骨干骨折修复静态负重力值 (%)

| 例数 | 年龄 | 性别 | 体重 | 闭合/开放 | 类型 | 部位/侧别 | 双拐 | 单拐 | 去拐 | 去板 |
|----|----|----|--------|-------|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 29 | 男 | 33.5kg | 闭合 | 斜面 | 下 1/3右 | 23.58 | 63.91 | 94.74 | 100 |
| 2 | 38 | 女 | 31.5kg | 闭合 | 螺旋 | 中下1/3左 | 15.87 | 53.49 | 86.13 | 98.51 |
| 3 | 19 | 男 | 28.5kg | 开放 | 斜面 | 中 1/3左 | 12.11 | 65.77 | 93.88 | 96.98 |
| 4 | 38 | 男 | 36.5kg | 闭合 | 斜面 | 中 1/3左 | 18.01 | 24.77 | 81.77 | 99.92 |
| 5 | 24 | 男 | 27.5kg | 开放 | 横断 | 中下1/3左 | 23.93 | 40.22 | 89.27 | 96.55 |
| 6 | 48 | 男 | 27 kg | 闭合 | 多段 | 中下1/3右 | 15.19 | 56.22 | 73.24 | 95.22 |
| 7 | 51 | 男 | 31 kg | 闭合 | 斜面 | 中 1/3左 | 14.47 | 47.74 | 94.94 | 100 |
| 8 | 55 | 男 | 34 kg | 闭合 | 斜面 | 中下1/3左 | 24.29 | 61.06 | 93.68 | 96.15 |
| 9 | 30 | 男 | 27.5kg | 开放 | 横断 | 中下1/3右 | 15.49 | 28.58 | 91.20 | 97.13 |
| 10 | 22 | 女 | 21 kg | 闭合 | 横断 | 中 1/3右 | 26.48 | 52.95 | 98.33 | 99.57 |
| 11 | 20 | 男 | 33.5kg | 闭合 | 粉碎 | 中 1/3右 | 14.04 | 61.49 | 90.39 | 95.97 |
| 12 | 53 | 男 | 33kg | 闭合 | 横断 | 中 1/3左 | 24.64 | 34.09 | 89.12 | 95.38 |
| 13 | 28 | 男 | 31.5kg | 闭合 | 螺旋 | 中 1/3右 | 34.32 | 55.73 | 93.08 | 97.14 |
| 14 | 48 | 男 | 27.5kg | 开放 | 粉碎 | 中下1/3左 | 24.98 | 68.47 | 80.65 | |
| 15 | 32 | 男 | 30.5kg | 闭合 | 横断 | 中下1/3右 | 18.44 | 45.18 | 85.04 | 96.85 |
| 16 | 34 | 男 | 31 kg | 闭合 | 横断 | 中 1/3右 | 98.56 | 49.18 | 86.92 | 97.98 |
| 17 | 26 | 男 | 32.5kg | 闭合 | 横断 | 中 1/3右 | 16.19 | 41.45 | 87.45 | 96.68 |
| 18 | 21 | 男 | 25 kg | 闭合 | 斜面 | 中 1/3右 | 12.18 | 54.09 | 80.71 | 97.48 |
| 19 | 19 | 男 | 22.5kg | 闭合 | 横断 | 中下1/3左 | 18.46 | 40.66 | 87.96 | |
| 20 | 34 | 男 | 29 kg | 闭合 | 斜面 | 中 1/3右 | 14.8 | 52.91 | 88.44 | 99.11 |

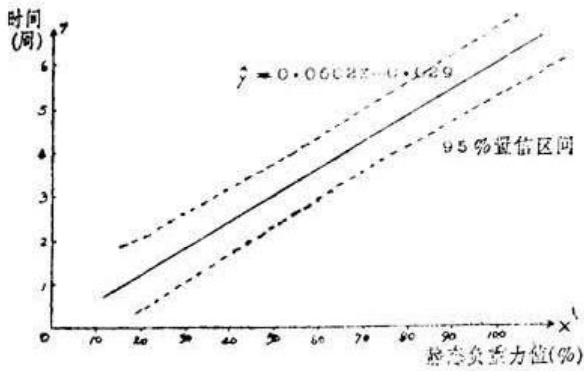
(2) 根据统计学处理，相关系数有显著性 $P < 0.01$ ，即静态负重力值与骨折修复时间具有相关关系存在，并进行了直线回归分析，用原始数据计算出回程方程

$$y = 0.060156x - 0.02896$$

回归方程的显著性检验 $F = 337.26$

$P < 0.01$

(相关系数 $r = 0.994122$ $P < 0.01$)



95%置信区间:

| x | y |
|-----|------------|
| 2 | 0.408~1.94 |
| 4 | 1.68~3.08 |
| 6 | 2.90~4.26 |
| 8 | 4.08~5.49 |
| 100 | 5.20~6.76 |

结果分析:

(1)如何去衡量判定骨折临床的愈合时间除根据病人的情况, X光片的分析, 还可以借助于负重力这一指标作为参考指标。在所测的20例病人中, 所有的负重力均用体重%表示。

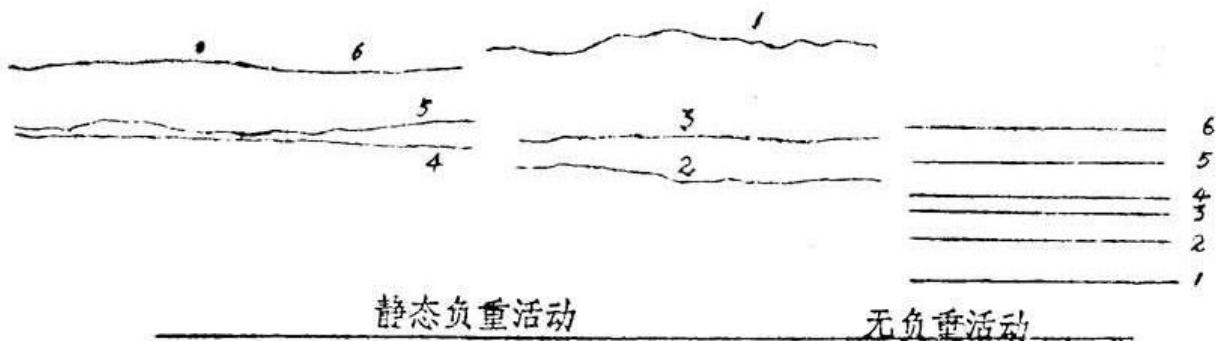
测试结果:

表I 患肢动态负重力测试数据

| 时间 力值 | (周) 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|
| X-Sd | 13.53± 4.47kg | 18.76± 4.90kg | 27.85± 9.82kg | 38.88± 9.82kg | 59.39±7.84kg | 59.41±7.90kg |
| 患肢负重力动态恢复百分比 | 22.77% | 31.57% | 46.86% | 65.42% | 99.93% | 99.96% |

负重力静, 动态波形图

静态负重力测验

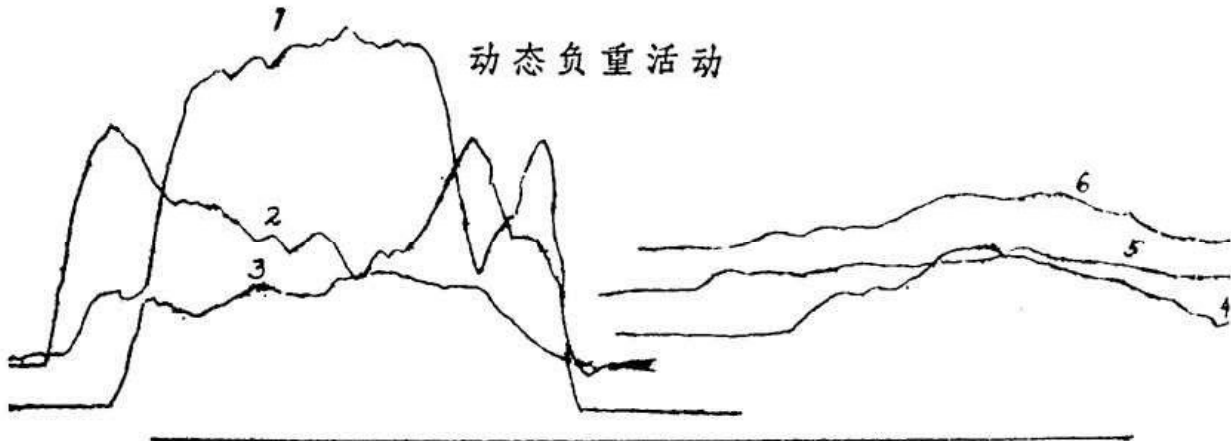


结果说明, 下地负重活动的初期, 患肢的负重力仅占19.33%, 尚需扶双拐下地活动。而后一、二周, 患肢的负重力上升到49.95%, 患肢的负重力到达体重的 $\frac{1}{2}$, 此时改为单拐负重活动是适宜的。在负重力达到88.62%时, 即超过体重的 $\frac{4}{5}$ 时, 病人即可主动去除双拐活动, 在至临床愈合时去除小夹板固定, 肢体负荷可达到97.7%。

(2) Meggitt指出当骨折荷达到80%, 即可去除支架, 表示骨折已经愈合。去支架后立即再试验, 往往机械指数下降, 但在1~3周内即迅速地回升到体重的100%。小夹板固定骨折, 主要为横向力作用, 支撑是靠骨折端本身。所以在拆除板夹后, 并不影响负重, 患肢负重能力会进一步到达97~100%, 一般在3~7天左右。

3、动态负重力测试:

在20例病人的动态测试组, 男性18例, 女性2例, 最大年龄55岁, 最小年龄19岁, 平均体重59.43kg。患者一般从三、四周去牵引后开始测试, 每周一次, 共记录了六周的动态应变波形图进行了数据分析。



(A) 1、2、3——健肢 静态负重力测验 平均 $23.63 \pm 2.01\text{kg}$
 (B) 4、5、6——患肢 动态负重力 平均 $24.37 \pm 2.62\text{kg}$
 患者体重 45kg

表II 动态测试的方差分析

| 变异来源 | SS | n | MS | F | p |
|------|----------|-----|---------|--------|-------|
| 总变异 | 4659.65 | 119 | | | |
| 周间 | 38266.11 | 5 | 7653.22 | 104.80 | <0.01 |
| 周内 | 8325.54 | 114 | 73.03 | | |

表V 拐负重力方差分析

| 变异来源 | SS | n | MS | F | p |
|------|----------|----|---------|-------|-------|
| 总变异 | 13548.91 | 79 | | | |
| 周间 | 7430.57 | 3 | 2476.86 | 30.77 | <0.01 |
| 周内 | 6118.34 | 76 | 80.50 | | |

表III 各均数间的两两比较

| 比较组 周比 | $\bar{X}_A - \bar{X}_B$ | a | q值 | q值 界限 | | p |
|-----------|-------------------------|---|-------|--------|--------|-------|
| | | | | p=0.05 | p=0.01 | |
| 2与1 | 5.23 | 2 | 3.96 | 2.80 | 2.80 | <0.05 |
| 3与2 | 9.09 | 2 | 6.89 | 2.80 | 2.80 | <0.01 |
| 4与3 | 11.03 | 2 | 8.36 | 2.80 | 2.80 | <0.01 |
| 5与4 | 20.51 | 2 | 15.54 | 2.80 | 2.80 | <0.01 |
| 6与5 | 0.02 | 2 | 0.015 | 2.80 | 2.80 | >0.05 |

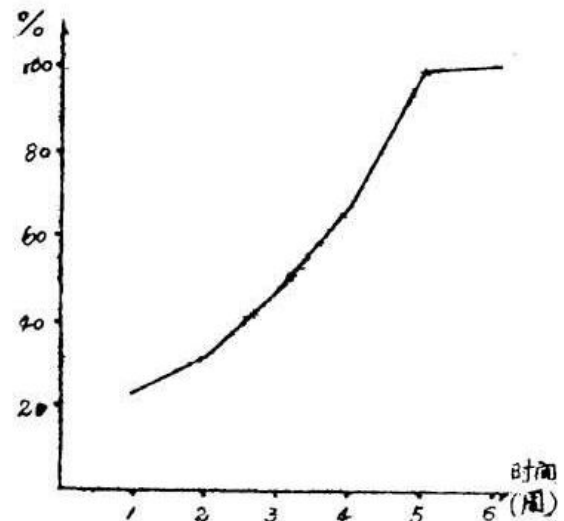
表VI 各均数间的两两比较

| 比较组 周比 | $\bar{X}_A - \bar{X}_B$ | a | p值 | q的界限 | | p |
|-----------|-------------------------|---|-------|--------|--------|-------|
| | | | | p=0.05 | p=0.01 | |
| 1:2 | 5.27 | 2 | 4.18 | 2.83 | 3.76 | <0.01 |
| 2:3 | 9.23 | 2 | 7.33 | 2.83 | 3.76 | <0.01 |
| 3:4 | 13.08 | 2 | 10.38 | 2.83 | 3.76 | <0.01 |
| 1:3 | 14.5 | 3 | 11.51 | 3.40 | 4.28 | <0.01 |
| 1:4 | 27.58 | 4 | 21.89 | 3.74 | 4.59 | <0.01 |
| 2:4 | 22.31 | 3 | 17.71 | 3.40 | 4.28 | <0.01 |

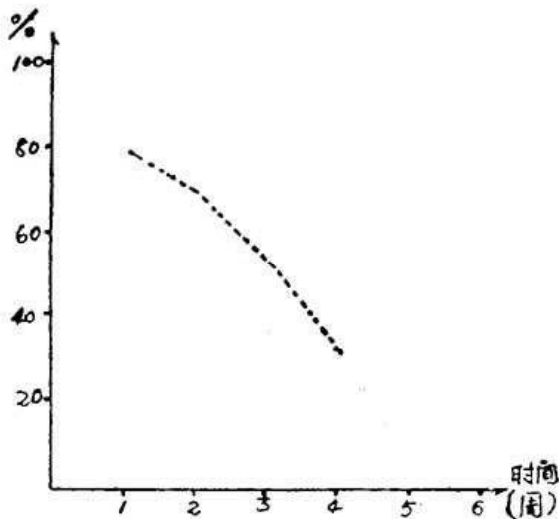
$S(\bar{X}_A - \bar{X}_B) = 132$

表IV 动态测试拐负重力

| 时间 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| X+Sd | $45.89 \pm$ | $40.62 \pm$ | $31.39 \pm$ | $18.31 \pm$ |
| 拐负重力 | 75.2kg | 9.26kg | 10.20kg | 7.77kg |
| 百分比 | 77.22% | 68.35% | 52.82% | 30.81% |



患肢动态负重力恢复百分比



拐负重力百分比

测试结果分析:

骨的主要功能是承受载荷,故根据功能适应性原理,活骨应按其受的应力而改变。这个看法称为Wolff法则。胫腓骨骨折的修复即恢复正常功能的速度和质量是与断端生理应力相关的。适时地下地负重活动,由于左右脚的交替过程所产生的交变应力使骨折端能随不同的骨折愈合期,得到间断的不同的生理应力刺激。根据动态波形可以清楚地看到负重力呈周期的变化,并且从患肢负重

力曲线及拐的负重力曲线看,基本接近于线性即前者不断增高,后者不断下降。

从测试结果还观察到,患者在外伤性炎症恢复期后纤维性骨痂形成不久即三周末或四周初下地负重活动,患肢的负重力可达体重的约20%左右,此后每周基本以相同速率上升,于骨折后第七、八周负重力达到90%左右,即可完全去掉双拐活动。使我们认识到小夹板固定治疗胫腓骨骨折选择三、四周负重对骨折愈合是有利的。

Woo (1980) 报告实验猪运动组的骨皮质比不运动组增厚17%, 骨灰钙重量也比对照组增加。文献Justus的实验表明发生变形的骨组织间质浓中Ca⁺浓度增大,因为应力改变了羟基磷酸钙溶解度。深田荣一发现在骨轴方向的压力可以产生压电效应,促进骨的重建。51. Cowin研究认为无论压应力,张应力以及剪应力都会对骨表面重建起到作用。wolf也通过实证证明:间断性、周期性的负载对加速骨折愈合提高愈合质量是有益的。52. 经动态负重力测试病人适时地下地负重活动使胫腓骨于骨折治疗效果满意,符合生物力学规律。

文献从略

外敷消肿定痛膏

本方由山奈259, 乳香109, 没药 109, 白芷109, 石膏粉409, 山枝子159组成。配方后, 烘干研细末。使用时加入面粉159, 火酒50毫升, 鸡蛋二个(取蛋白), 搅拌成糊状, 托于荷叶或牛皮纸, 外以绷带缠之即可。敷之三日, 药干, 可再加入火酒搅拌成糊状, 续敷, 直至药性尽失。

李某, 男, 24岁, 家住宜丰县敖桥云大桥树。一九八五年十一月六日初诊。病者昨天下午不慎跌倒, 右手掌撑地, 即后右腕关节瘀肿、疼痛。今来本科就诊: 症见, 右腕部瘀肿、疼痛, 功能受限, 无畸形, 异常

活动, 摄右腕正侧位片(2316)“右腕关节及所属骨质无明显改变。”诊断: 右腕关节伤筋。施以消肿定痛膏, 一周后复诊, 症状消失, 功能恢复正常。

讨论: 本方对于软组织损伤外用疗效显著, 是因方中山奈、乳香、没药、白芷活血化瘀, 理气消肿止痛。枝子、石膏粉清热凉血消肿, 抑其瘀血化热, 防治未然, 火酒助药力提高疗效, 且药干后, 尚有一定的制功作用, 利于骨折伤筋的修复。各位同道, 在临床上不妨一试。

江西宜丰县中医院 龙 隆