

$$\zeta_s = 1.5965m - 0.1178. \quad c.c = 0.9510 \quad (20)$$

这样,气力输送煤粉,对 $\theta = 90^\circ$.

$$\frac{R}{D} = 4,$$

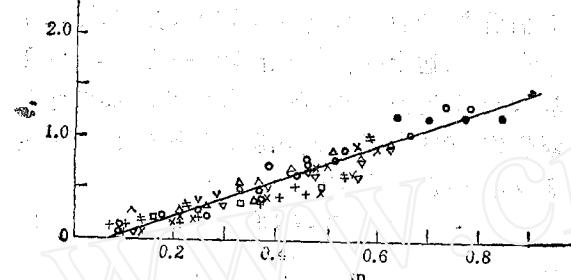


图 5 从水平到垂直 90° 弯管的 ζ_s 变化曲线

- | | | |
|-----------------------------|---|-----------------------------|
| ● $v_a = 13.05 \text{ m/s}$ | } | $R/D = \frac{200}{50} = 4$ |
| ○ $v_a = 16.27 \text{ m/s}$ | | |
| △ $v_a = 19.95 \text{ m/s}$ | | |
| × | | |
| ▽ $v_a = 22.27 \text{ m/s}$ | | |
| + | | |
| * | | |
| ▽ $v_a = 24.17 \text{ m/s}$ | | |
| + | | |
| * | | |
| ▽ $v_a = 28.35 \text{ m/s}$ | } | $R/D = \frac{400}{100} = 4$ |
| + | | |
| * | | |
| ▽ $v_a = 16.57 \text{ m/s}$ | | |
| + | | |
| * | | |
| ▽ $v_a = 20.08 \text{ m/s}$ | | |
| + | | |
| * | | |
| ▽ $v_a = 24.03 \text{ m/s}$ | | |
| + | | |
| * | | |
| ▽ $v_a = 29.82 \text{ m/s}$ | | |
| + | | |
| * | | |
| ▽ $v_a = 35.09 \text{ m/s}$ | | |

由水平到垂直流向的弯管,压力损失 ΔP 可用下式计算:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (\zeta_a + \zeta_s) \frac{1}{2} \rho_a v_a^2 \\ &= \left[\frac{4.30}{Re^{0.236}} + (1.5965m - 0.1178) \right] \end{aligned}$$

$$\times \frac{1}{2} \rho_a v_a^2 \quad (21)$$

8. 结束语

本文是在理论分析的基础上,用发电厂燃用的煤粉,在工程管道系统中,进行了一系列的实验,得到煤粉气力输送在垂直管,水平管和 90° 弯管内的阻力系数计算式。该计算式在实验的流速、雷诺数、气固质量比的范围内,都可用于煤粉系统的管道阻力的压力损失计算。

文中主要符号

- c, e ——常数
 D ——输送管内径 (m)
 d_s ——粉体粒子的平均直径 (m)
 M ——质量流量 (kg/s)
 m ——气固质量比 $m = M_s/M_a$
 Re ——雷诺数 $Re = v_a D \rho_a / \mu$
 Re_s ——粒子的雷诺数 $Re_s = \frac{(v_a - v_s) d_s \rho_a}{\mu}$
 v_a ——输送时空气流的速度 (m/s)
 v_s ——输送时粉体的速度 (m/s)
 W ——一个粉体粒子所受到的重力 (N)
 λ ——粉体气力输送时的摩擦阻力系数
 ρ_a ——输送空气流的密度 (kg/m^3)
 ρ_s ——粉体的真实密度 (kg/m^3)
 μ ——空气流的动力粘性系数 ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$)
 ϕ ——速度比 $\phi = v_s/v_a$

参考文献

- [1] 于荣宪、王文琪、张维一, 粉体气力输送直管压力损失的初步研究, 南京工学院学报, 16, 6(1986).
 - [2] 于荣宪, 王文琪, 粉粒体气力输送垂直管的压力损失, 南京工学院学报, 18, 6(1988).
 - [3] 于荣宪、王文琪, 粉粒体气力输送弯管的压力损失, 东南大学学报, 19, 6, (1989).
- (本文 1989 年 11 月 30 日收到)

纸板加压垫固定治疗腕舟骨骨折的力学分析

山慧贤¹⁾ 严宗毅²⁾ 钱民全³⁾ 殷胜如⁴⁾

摘要 本文从力学角度探讨用纸板加压垫固定的方法治疗腕舟骨骨折取得显著疗效的机理。

关键词 腕舟骨骨折, 纸板加压垫固定, 应力分析

1. 引言

力学与实践

腕部诸骨中, 腕舟骨骨折最为常见。1972 年以来, 中医研究院广安门医院骨科用纸板加压垫的治疗方法^[1~3], 即在鼻烟壶窝处放上小于

1) 北京大学分校数学系; 2) 北京大学力学系; 3) 中国科学院力学研究所; 4) 中医研究院广安门医院骨科。

该窝且稍高出伸拇指长肌腱的纸压垫，外加纸板用绷带固定。固定方位随舟骨骨折线的走向而异。对于桡斜线骨折（即骨折线由舟骨桡侧近端斜向尺侧远端时），采用尺偏位固定（图1）。若中立位时，舟骨骨折线与桡骨纵轴的垂线成 20° 角，尺偏后可减少到 0° 。对于尺斜线骨折（即骨折线由舟骨尺侧近端斜向桡侧远端），

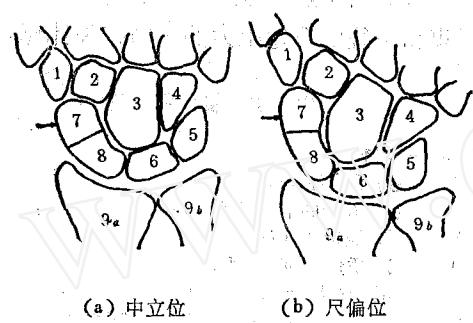


图 1 桡斜线骨折
各骨名称：1 大多角骨 2 小多角骨 3 头状骨
4 钩骨 5 三角骨 6 月骨 7,8 舟骨
9a 桡骨 9b 尺骨 箭头：鼻烟壶窝位置

则采用桡偏位固定（图2），骨折线的角度可由中立位的 24° 变为桡偏后的 8° 。包扎后鼓励病人每日握拳锻炼。采用此法临床治疗444例，有432例获得骨性愈合，比以往的硬托板固定、石膏固定、手术和骨移植等疗法的疗效显著提高。本文的目的在于从生物力学角度探讨疗效得以提高的机理。

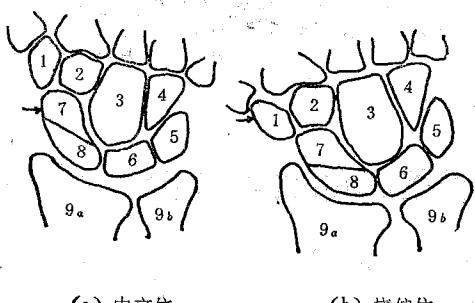


图 2 尺斜线骨折
各骨名称和箭头意义同图 1

2. 理论分析

各腕骨受力方向大都平行于手掌平面，因而当作平面力学问题来处理。假设每一块腕骨

为刚体。当受到外力时，由于各腕骨平移与旋转的不同，在骨间边界上会产生弹性变形而引起应力。现在我们就来计算这些应力分布。

先考虑两块在AB边接触的骨头1和2。设在外力作用下两骨的形心分别在x和y方向平移 u_1, v_1 和 u_2, v_2 ，在xy平面上分别旋转角度 θ_1 和 θ_2 （y沿桡骨纵轴方向，x轴与y轴垂直指向尺侧，见图1和图2）。这样，原来在AB边上两骨互相接触的一点P，就会随两骨运动而分别变到 P' 和 P'' 。如果把相对位移 $P'P''$ 的法向和切向分量分别记为 δ_1 和 δ_2 ，那么容易导出

$$\boldsymbol{\delta} = \mathbf{B}\mathbf{U}_i \quad (1)$$

式中

$$\boldsymbol{\delta} = [\delta_1, \delta_2]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{U}_i = [u_1, v_1, \theta_1, u_2, v_2, \theta_2]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{M}\mathbf{R}\mathbf{Q} \quad (4)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -(y - y_1) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & x - x_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -(y - y_2) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & x - x_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

(x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 分别是两骨形心坐标，

$$\alpha = \beta - 90^\circ,$$

而 β 是AB边与x轴的夹角（使骨1位移AB左侧时取AB边为正向，而正法向由骨1指向2）。这里假设转角 θ_1 和 θ_2 都很微小。

若记骨边界上的法向与切向刚度分别为 k_σ 和 k_τ ，则AB边上的法向与切向应力 σ 和 τ 为

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}\boldsymbol{\delta} \quad (8)$$

式中

$$\boldsymbol{\sigma} = [\sigma, \tau]^T \quad (9)$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} k_\sigma & 0 \\ 0 & k_\tau \end{bmatrix} \quad (10)$$

整条骨边界 AB 上的应变能可以写为

$$E = \frac{1}{2} \int_{AB} \boldsymbol{\delta}' \mathbf{D} \boldsymbol{\delta} ds \\ = \frac{1}{2} \mathbf{U}_i^T \mathbf{K} \mathbf{U}_i \quad (11)$$

式中

$$\mathbf{K} = \int_{AB} \mathbf{B}' \mathbf{D} \mathbf{B} ds \quad (12)$$

s 是沿 AB 的弧长。根据 Castiglano 定理，沿 AB 边作用在骨 1 和骨 2 上的合力 F_x, F ，和力矩 M_x 可由下式算出：

$$\mathbf{F} = \mathbf{K} \mathbf{U}_i \quad (13)$$

式中

$$\mathbf{F}^T = [F_{1x}, F_{1y}, M_{1z}, F_{2x}, F_{2y}, M_{2z}]^T \quad (14)$$

现把上述分析推广于图 1 和图 2 所示的腕骨系统(根据文献[4]简化而得)。图中骨 1 至 8 都是腕骨，其中 7 和 8 分别是舟骨断裂后的近端和远端，9a(桡骨)和 9b(尺骨)当作一块，取为静止不动的参照物(这是求得骨系运动的唯一解所必须的)。在这九块骨之间有十五条边界，对它们逐一应用(13)式，可将任一块骨上所受相邻骨的合作用力与合力矩，用该骨与邻骨形心的位移与旋转表示出来，即

$$\tilde{\mathbf{F}} = \mathbf{L} \tilde{\mathbf{U}}_i \quad (15)$$

式中

$$\tilde{\mathbf{F}} = [F_{1x}, F_{1y}, M_{1z}, F_{2x}, F_{2y}, M_{2z}, \dots, F_{8x}, F_{8y}, M_{8z}]^T \quad (16)$$

$$\tilde{\mathbf{U}}_i = [u_1, v_1, \theta_1, u_2, v_2, \theta_2, \dots, u_8, v_8, \theta_8]^T \quad (17)$$

\mathbf{L} 是 8×8 的总体刚度矩阵，由 \mathbf{K} 在适当位置叠加而得。如果第 i 块骨受到上述十五个边界以外的作用力 f_{ix}, f_i ，和力矩 m_{iz} (例如绷带和压垫的作用力，掌骨作用于骨 1 至 4 的力)，那么由骨 1 至 8 的平衡条件易得

$$\mathbf{L} \tilde{\mathbf{U}}_i = -\mathbf{f} \quad (18)$$

式中

$$\mathbf{f} = [f_{1x}, f_{2x}, m_{1z}, f_{2x}, f_{2y}, m_{2z}, \dots, f_{8x}, f_{8y}, m_{8z}]^T \quad (19)$$

一旦给定全部外力与力矩 \mathbf{f} ，即可由此解出各骨的位移与旋转 $\tilde{\mathbf{U}}_i$ ，再代入(1)、(8)即可求出各骨间边界(尤其是骨折线)上的法向与切向

应力分布。注意 \mathbf{L} 只取决于腕骨的固定方位与骨折线的位置，而与所加外力无关，因此讨论外力改变的影响时无须重算 \mathbf{L} 。整个计算量很小，适宜用微机进行。

(19) 式中各骨所受外力与力矩的大小，不仅因人而异，也随固定方位、绷带松紧、握力大小而变。我们测量发现，一般人最大握力约为 400 牛顿，主要作用于第 2, 3, 4 掌骨，大体指向固联于桡骨的屈肌支持带(图中 $x = 4.5$ 厘米， $y = 1$ 厘米)。绷带的分布力约为 5×10^3 牛顿/米²，当握拳时可增大一倍。对于如图 1b 所示的尺偏位，术者用力将绷带由桡侧拉向尺侧；而对图 2b 所示的桡偏位，绷带由尺侧推向桡侧。这两种方位下两侧所受绷带力是不均衡的，并在不同的骨上产生力矩。至于鼻烟壶窝的压力垫，产生一个 x 方向的集中力。经测量，约为几牛顿至几十牛顿，依固定方位、绷带松紧以及握拳与否而变。

(10) 式中的刚度常数 k_d 和 k_s 目前尚缺乏可靠数据。我们取 $k_d = 10^8$ 牛顿/米²，对于远(骨 1, 2, 3, 4) 近(骨 5, 6, 7, 8) 两排腕骨之间取 $k_s = 10^7$ 牛顿/米²，而对其它骨边界则取 $k_s = 4 \times 10^7$ 牛顿/米²。这是因为远排或近排各骨间连接得较为紧密，往往一起活动，而两排之间较易相互滑动。

3. 结果与讨论

参照上文的数据，我们假设了多组不同的外力和力矩进行了计算。

对于桡斜线骨折的计算表明，沿骨折线的切应力均匀分布，而法向应力分布不均匀(尺偏位比中立位的不均匀程度较小)。图 3 画出了中立位和尺偏位时骨折线上最大压应力和切应力随鼻烟壶窝压力垫的集中力而变化的曲线。可以看出，中立位改为尺偏位会使切应力的绝对值显著减小，而握拳锻炼会使压应力提高 7—9 倍。尺偏位时，通过鼻烟壶窝加十几牛顿的集中力，会使骨折线上切应力几乎降为零。即使集中力的大小与此最佳值稍有偏离，切应力仍处于很低水平。

对于尺斜线骨折，桡偏位时的切应力比中

立位时小得多。中立位时握拳使切应力大大提高,而桡偏位时握拳与否差别不大,且切应力对鼻烟壶窝集中力很不敏感。中立位时,随着集中力加大,不握拳情形的法应力可能由负变正(即由压应力变为拉应力);桡偏位时无此现象。

尺斜线骨折采用桡偏位固定时,切应力几乎不随绷带松紧而变。桡斜线骨折采用尺偏位固定时,适当收紧绷带会使切应力值稍有减小;但此时不宜缠得过紧,否则会使不握拳时的切应力改变方向后继续加大。

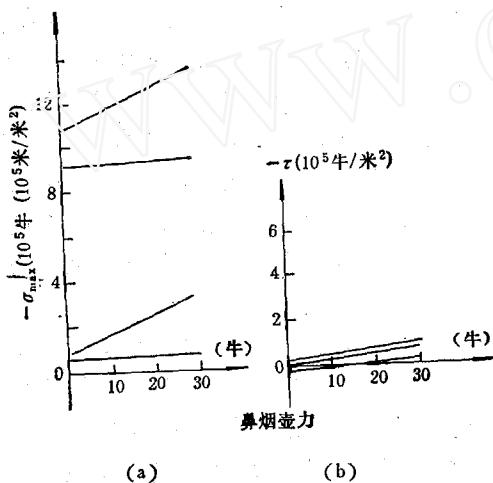


图3 桡斜线骨折在骨折线上的法应力(a)和切应力(b)

总而言之,对桡斜线骨折采用尺偏位固定,对尺斜线骨折采用桡偏位固定,并辅以适当的绷带松紧程度和鼻烟壶窝压垫集中力,目的在于降低骨折线上的切应力。握拳锻炼的目的在于增加骨折线上的压应力。根据骨的功能适应

性原理^[6],压应力能刺激新骨形成和断骨愈合,这已为临床和实验所证实。而切应力则使断骨错位,阻碍愈合。这就从力学角度说明了本文讨论的纸板加压垫固定的疗法用于治疗腕舟骨骨折为什么能取得很好的疗效。

本文的模型做了许多简化,尤其是受力情况和刚度常数还缺乏精确的数据。因而本文的分析只能是定性的。但即使这一定性分析也能为上述临幊上取得显著疗效的疗法提供一定的理论根据。

天津大学的严宗达教授曾就本文的理论计算与部分作者进行过有益的讨论,对此我们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Duan Shengru (段胜如), Lin Gongzhou (林共周), A clinical study of 197 cases of fracture of carpal scaphoid bone treated by paper plates with pressure padding, *J. of Traditional Chinese Medicine*, 4, 4(1984), 313—320.
- [2] 段胜如,林共周,王长义,周殿华,144例新鲜腕骨骨折的治疗,中华骨科杂志5,1(1985),30—32页。
- [3] 段胜如,纸板加压垫法治疗囊变、硬化、坏死型腕骨骨折104例临床研究,全国第二届生物固体力学学术会议论文集,C卷,1986年9月,石家庄。
- [4] 中国医科大学著,高士濂主编,实用解剖学图谱,四肢分册(上肢),上海科学技术出版社(1980)。
- [5] Tsumura, H. & Himeno, S., Load transmission and injury mechanism of the wrist joint, *Bio-mechanics Symposium* (1983), 5—8.
- [6] Fung, Y. C., *Biomechanics—Mechanical Properties of Living Tissues*, Springer-Verlag (1981), p. 393.

(本文于1989年11月6日收到)

一种新型振动筛的设计构思

包忠有

(景德镇陶瓷学院)

庄表中

(浙江大学)

扶名福

(江西工大)

提要 振动筛在工农业生产中起着十分重要的作用。但是,长期以来,由于设计方面的种种原因,不但容易损坏,而且工作噪声大,工作环境恶劣,造成了许多不良的影响。本文利用减振理论,采用组合型式,较好地解决了以上问题,是一种新颖的设计方案。

关键词 振动筛,减振

本文假定:振体的弹簧刚度是线性的,其粘性阻尼很小可以忽略不计,于是振动筛可以