

$D = (3.5 \pm 1.5) \times 10^{-9} \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$; Lieban 等测得蛙和大鲵鱼的视杆外段

$$D = (5.5 \pm 0.6) \times 10^{-9} \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}.$$

在 23.5°C — 30°C 的范围内我们还求得了侧向扩散的温度系数 $Q_{10} = 2.36 \pm 1.17$. 这一结果亦正处在 Poo 的结果 ($Q_{10} = 3.7 \pm 0.7$) 和 Edidin 的结果 ($Q_{10} = 1.7 \pm 0.5$) 之间. 我们还着重测量了上述扩散系数 D 随温度的变化, 当温度由 23.5°C 增加到 45°C 时, D 值也随之增加. 这表明, 随着温度的增加, 视杆外段盘膜上分子的流动性明显地增大. 这与二向色性比的实验结果是一致的. 如图 3 所示, 当温度逐渐增大时, 二向色性比逐步下降, 这就表明分子排列的有序性逐步下降, 也就是膜的流动性增加. 在测量双折射时, 我们还发现了一个十分有趣的现象, 即 45°C 时, 视杆外段的双折射突然由正值变为负值. 这表明在 45°C 附近, 盘膜上的分子排列可能发生一个突然的转折. 双折射是由正的本质双折射和负的形状双折射两部分组成. 因此上述转折可能与这两种贡献的权重发生变化有关. 从 ERP 实验^[10]可知, 45°C — 48°C 时, 观察到 R_2 的峰值最大. 视杆细胞的

快速电响应中的这一现象是否与双折射的突变有关(可能意味着分子排列的突然改变)尚待深入研究. 总之, 视觉感受器的膜组分通常是处于具有相当有序性的液晶状态, 有关它的分子排列、结构及其与生理功能间的关系至今尚不清楚, 还有待深入探讨.

参 考 文 献

- [1] Schmidt, W. J.: *Kolloid-Z.*, **85**, 137, 1938.
- [2] Liebman, P. A., J. Jagger, M. Kaplan and F. Bargoot: *Nature*, **251**, 31, 1974.
- [3] Denton, E. J.: *J. Physiol.*, **124**, 16, 1954.
- [4] Liebman, P. A.: *Biophysical J.*, **2**, 161, 1962.
- [5] Cone, R. A.: *Nature (New Biology)*, **236**, 39, 1972.
- [6] Brown, P. K.: *ibid.*, **236**, 35, 1972.
- [7] M. Poo, R. Cone: *Nature*, **247**, 438, 1974.
- [8] Liebman, P. A. Entine, G.: *Science*, N. Y. **185**, 457, 1974.
- [9] Chang-Lin Weng, et al.: *Biophysical J.*, **33**—**34**, 225, 1981.
- [10] 蔡浩然, 马万禄, 张允芝: 《生理学报》, **1**, 1981.
- [11] Smith, R. W.: *Vision Research*, **11**, 1383, 1971.
- [12] Liebman, P. A.: *Biophysical J.*, **23**, 59, 1978.
- [13] 胡坤生, 马万禄, 谈曼琪, 赵东坡: 《生物物理与生物化学进展》, **2**, 72, 1981.

[本文于1983年12月14日收到]

髌骨下肢延长术中的生物力学探讨

朱孝华 胡瑞娟 洪天禄 唐天驹

(苏州大学) (苏州丝绸工学院) (苏州医学院骨科)

从 1982 年开始, 苏州医学院骨科对下肢不等长畸形施行经髌骨下肢延长手术已有 100 余例, 病人在手术后一周均可下床扶拐行走, 此后肢体延长稳定可靠, 优于国内、外同类型手术. 现从生物力学角度对其经验加以总结.

一、最佳负荷点的选择

该院骨科通过对骨盆结构的生物力学探讨, 为改进原来 Salter 氏手术提供了依据.

髌骨锯开处的断面如图 1a 所示. 手术采

用钛合金圆柱体内固定器撑开髌骨. 人的体重、日常负荷及肌肉收缩力均会对髌骨的形态结构有影响^[1]. 它主要承受压缩应力, 由于应力分布不均匀, 在髌骨断面处宽窄不一, 骨皮质亦有厚有薄. 图 1(a) 中 A 点是断面最宽、骨皮质最厚处, 骨小梁较密集, 此处是压缩应力合力的着力点, 应被选作最佳负荷点. 根据 60 个髌骨标本测量, A 点距坐骨大切迹截骨点约为 2.36 厘米. 手术中应根据具体情况判断 A 点位置, 选准放置圆柱体支撑内固定器.

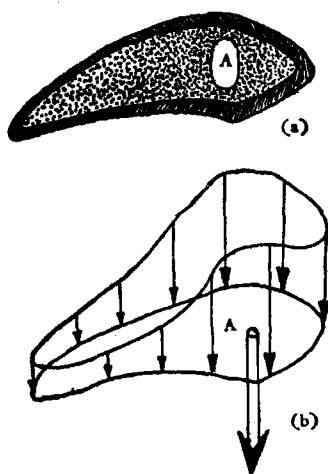


图 1

二、三种内固定器的比较

Millis 氏等^[2]采用斯氏钉贯穿髌骨及植骨块, 仅能维持植骨块的位置。而灰髓炎后遗症患者, 由于缺少正常负荷和肌力刺激, 其髌骨发育不良, 植骨块较薄, 又镶嵌在延长间隙中, 易下沉, 手术后肢体增高度不稳定, 甚至发生回缩现象。millis 氏手术中就有一例如此。

国内采用钛合金板内固定器(图 2a), 虽比 millis 氏法有所改进, 但又发现肢体增高度不稳定可靠, 出现‘返短’现象。因为钛合金板只能用螺钉固定于髌骨外侧, 就其所受压缩力分析, 是在 A 点外侧 (图 3a)。压缩力通过螺钉传给

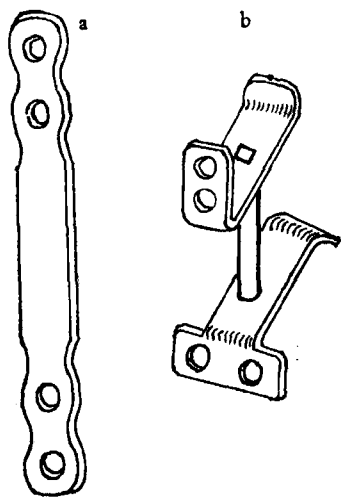


图 2

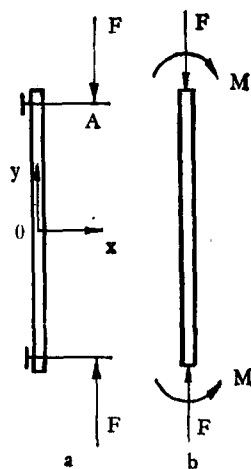


图 3

合金板, 这对压缩力等效于一对压缩力 F 和一对等值反向的力矩 M 的作用 (图 3b)。如果不计及骨水泥及其余植骨的负荷, 合金板在这对力矩作用下将发生弯曲形变 (图 4a), 其挠度为 δ , 由于 δ 的出现, 力 F 又产生附加力矩 ΔM (图 4b)。在一对 $M + \Delta M$ 力矩作用下, δ 势必再增大, 结果又使 ΔM 增大, 这种相互促增的效果虽不象图中所表示的如此严重, 但由于术后长年来, 人体在运动中负荷可远大于静负荷, 而合金板的厚度受形状、位置所限, 抗弯能力有限, 从而导致增高度下降。

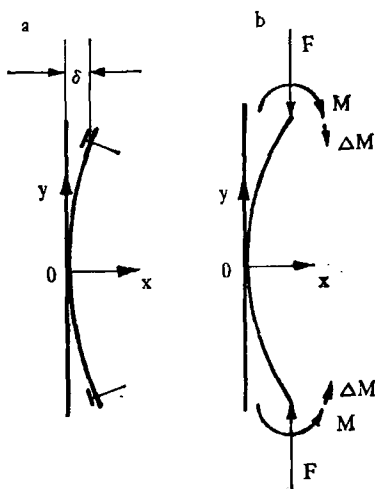


图 4

立柱式内固定器(图 2b)上、下两面合金板的宽度和厚度均可视负荷情况增大, 足以抗弯

曲形变；更重要的是不会发生力矩与挠度相互促增效应。立柱本身又可与A点相吻合，只要直径充分大，就足以承受几倍于人体的静负荷。曾以一种钛合金立柱式内固定器作试验，其受压能力高达1280千克重。这样，从理论上分析，病人手术后早期活动是可行的。临床实践也已证实，90余例病人手术后一般只需维持常规牵引5—7天，即可下床负重活动。

其次，两种内固定器的压缩形变亦相差悬殊。以相同材料制作的合金板和立柱式内固定器，如高度 h 相同，承受力 F 又相同，以 E 表示杨氏模量， s 表示截面积，从虎克定律得：

$$\Delta l_{\text{板}} = \frac{hF}{ES_{\text{板}}}, \Delta l_{\text{柱}} = \frac{hF}{ES_{\text{柱}}},$$

$$\frac{\Delta l_{\text{板}}}{\Delta l_{\text{柱}}} = \frac{S_{\text{柱}}}{S_{\text{板}}}$$

即缩短量与其截面积成反比，而 $S_{\text{柱}}$ 可比 $S_{\text{板}}$ 大得多，所以 $\Delta l_{\text{柱}}$ 远小于 $\Delta l_{\text{板}}$ 。

此外，合金板内固定器所用螺钉主要用于负荷，与髌骨铆合的接触面较小，应力集中，易使骨质塌陷，也会降低增高度；而立柱式内固定器所用螺钉主要用于定位，负荷由面积很大的上、下合金板承担，应力分散，有效地保护了骨质不致损伤而降低增高度。

三、肢体延长的增高度计算

通常手术后骨盆的各部分都发生位移，不同部位的位移情况又有所不同。图5是某病人术后的X光片，术前原割线上的 n 、 m 点，相应上移到 n_1 、 m_1 点，下移到 n' 、 m' 点。割线下部髌骨连同坐骨、耻骨发生了一次转动，转动中心在 o_1 点， o_1 是 $\overline{nn'}$ 、 $\overline{mm'}$ 的垂直平分线的交点。髌臼部位的髌骨与股骨最高点相吻合的点 p 也转到了 p' 点（严格说，在手术前 p 不一定与原来股骨最高点吻合，但相距很近），就使患肢下移了 Δh_1 。

在耻骨连接处总可找到一个点，手术前后均是左右耻骨的重合点；术前在 s 处，术后转到 s' 处。另一侧髌骨与股骨最高点相吻合的 q 点也转到 q' 点，转动中心为 o_2 ，相应使该侧下肢

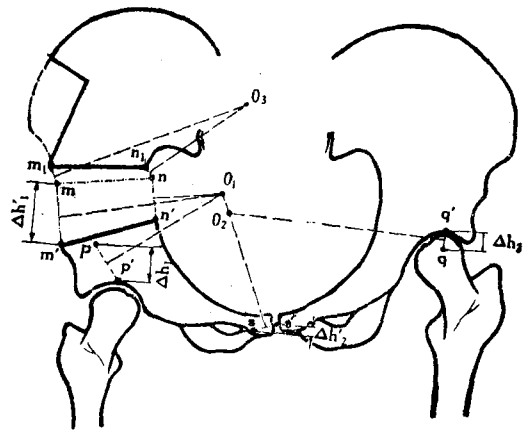


图 5

上移了 Δh_2 。下肢延长的实际增高还与患肢一侧割线上方髌骨的转动有关，转动中心为 o_3 ，这一转动有助于矫正病人左、右畸形，因转角很小，对患侧下肢延长几乎没有贡献。所以下肢增高值近似被认为 $h = \Delta h_1 + \Delta h_2$ 。

应用几何法，从手术前后的X光片可直接量出增高值。同时作了严格的数学推导。图6中，患侧割线以下骨结构转过角度为 θ ， m 与 m' 间高度差为 $\Delta h'_1$ ， p 与 p' 间高度差为 Δh_1 ，建立坐标系 o_1xy ，并测定下列数据

$$a_1 = \overline{mo_1} = \overline{m'o_1}, m' \text{ 的坐标为 } x_1, y_1;$$

$$a_2 = \overline{po_1} = \overline{p'o_1}, p' \text{ 的坐标为 } x_2, y_2.$$

弧长 $\widehat{mm'}$ 由下式计算

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = a_1^2 \cdots \cdots (1) \\ dS_1 = \sqrt{dx^2 + dy^2} \cdots \cdots (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = a_2^2 \cdots \cdots (1) \\ dS_2 = \sqrt{dx^2 + dy^2} \cdots \cdots (2) \end{cases}$$

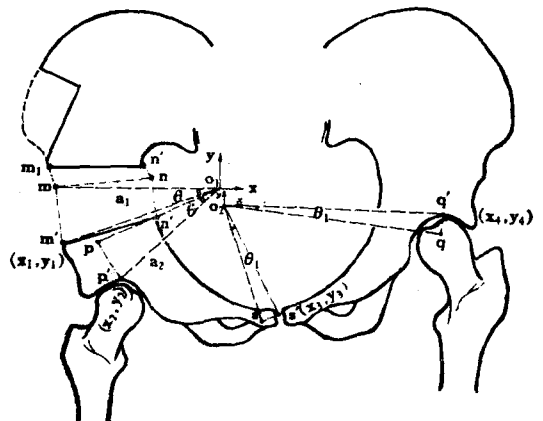


图 6

由(1)

$$2x \frac{dx}{dy} + 2y = 0$$

得

$$\left(\frac{dx}{dy}\right)^2 = \frac{y^2}{a_1^2 - y^2} \dots \dots \dots (3)$$

(3)代入(2)得

$$\begin{aligned} ds &= \frac{a_1 dy}{\sqrt{a_1^2 - y^2}} \\ \widehat{mm'} &= s_1 = \int ds_1 = \int_{y_1}^{y_1 + \Delta h'_1} \frac{a_1 dy}{\sqrt{a_1^2 - y^2}} \\ &= a_1 \arcsin \frac{y}{a_1} \Big|_{y_1}^{y_1 + \Delta h'_1} \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} \frac{s_1}{a_1} &= \arcsin \frac{y_1 + \Delta h'_1}{a_1} - \arcsin \frac{y_1}{a_1} \\ &= \arcsin \left[\frac{y_1 + \Delta h'_1}{a_1} \sqrt{1 - \left(\frac{y_1}{a_1}\right)^2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{y_1}{a_1} \sqrt{1 - \left(\frac{y_1 + \Delta h'_1}{a_1}\right)^2} \right] \end{aligned}$$

因转角

$$\theta = \frac{s_1}{a_1}$$

∴

$$\begin{aligned} \theta &= \arcsin \left[\left(\frac{y_1 + \Delta h'_1}{a_1} \sqrt{a_1^2 - y_1^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - y_1 \sqrt{a_1^2 - (y_1 + \Delta h'_1)^2} \right) / a_1^2 \right] \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \left[\left(\frac{y_1 + \Delta h'_1}{a_1} \sqrt{a_1^2 - y_1^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - y_1 \sqrt{a_1^2 - (y_1 + \Delta h'_1)^2} \right) / a_1^2 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

而 p 转过同样角度 θ 到了 P' , 同理有

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \left[\left(\frac{y_2 + \Delta h_1}{a_2} \sqrt{a_2^2 - y_2^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - y_2 \sqrt{a_2^2 - (y_2 + \Delta h_1)^2} \right) / a_2^2 \right] \end{aligned} \quad (5)$$

(4)、(5)两式左端相同, 右端应相等,

$$\frac{(y_1 + \Delta h'_1) \sqrt{a_1^2 - y_1^2} - y_1 \sqrt{a_1^2 - (y_1 + \Delta h'_1)^2}}{a_1^2}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(y_2 + \Delta h_1) \sqrt{a_2^2 - y_2^2} - y_2 \sqrt{a_2^2 - (y_2 + \Delta h_1)^2}}{a_2^2} \\ &\dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

若测得 y_1 、 a_1 、 $\Delta h'_1$ 及 y_2 、 a_2 , 可由(6)式算出 Δh_1 .

图 6 还表明另一侧髌骨转过了 φ 角, 建立 o_2xy 坐标系, 测定

$$a_3 = \overline{so_2} = \overline{s'o_2},$$

S' 坐标为 x_3 、 y_3 ;

$$a_4 = \overline{qo_2} = \overline{q'o_2},$$

q' 坐标为 x_4 、 y_4 .

若再量得 $\Delta h'_2$, 由 $\sin \theta$ 相同可得

$$\begin{aligned} &\frac{(y_3 + \Delta h'_2) \sqrt{a_3^2 - y_3^2} - y_3 \sqrt{a_3^2 - (y_3 + \Delta h'_2)^2}}{a_3^2} \\ &= \frac{(y_4 + \Delta h_2) \sqrt{a_4^2 - y_4^2} - y_4 \sqrt{a_4^2 - (y_4 + \Delta h_2)^2}}{a_4^2} \\ &\dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

由(7)式可求得 Δh_2 , 增高值 $h = \Delta h_1 + \Delta h_2$.

四、下肢延长的经验计算公式

我们通过许多病例, 按上述作图法所得下肢实际延长值约为立柱形支撑内固定器高度的 1.13 倍左右, 当病人左、右高度差在四厘米上、下, 按上述手术延长下肢, 这个数字基本上是可信的。

以顾××的下肢延长手术为例, 病人手术前左、右高度差 4 厘米, 内固定器高度 3 厘米, 延长高度计算值为 $3 \times 1.13 = 3.39$ (厘米)。X 光片测量值: 患肢下移 $\Delta h_1 = 3.0$ 厘米, 好肢上移 $\Delta h_2 = 0.4$ 厘米, 实际延长高度 $h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 3.4$ 厘米, 与计算值相近。病人治疗后患肢明显延长, 跛行得到矫正。

参 考 文 献

- [1] Bateson, E. M. : *Journal of Radiology*, **39**, 92, 1966.
- [2] Millis, M. B. : *J. Bone and Joint surg.*, **61**(A), 1182—1194, 1979.

【本文于 1983 年 8 月 26 日收到】