

骨生物力学回顾

董福慧

(中国中医研究院骨伤科研究所,北京 100700)

从 Meyer (1867)、Wolff (1869) 和 Roux (1881) 时代以来,骨生物力学经历了一个多世纪的艰难跋涉。现在我们对骨力学性质的知识比 30 年前丰富得多,比起 100 年前就更为丰富了。首先,人们已经认识到骨是一种高度复杂的系统,一种多功能的组织,具有大量的互相联系的生物物理、生物化学的生命过程。Evans (1957) 总结了直到 1957 年所发表的对 Wolff 定律的支持和批评意见后指出:关于应力和应变在骨的形成与结构中所起的作用的多数说法大体上都是理论性的,需要实验来证实。另一方面已有大量实验证据指出,对于骨单元的排列方向和置换来说,力学的刺激并不是唯一的,也不一定是最重要的因素。Evans 这一评价已经指出了骨生物力学研究中一段时间的变化。Hayes 和 Snyder (1981) 第一次应用有限元分析证实,在计算的应力与体视测定的构造参数之间确实存在有意义的相关,给骨结构的轨线假设以有力支持,但还没有找到控制骨重建的数学规律。

现在,人们普遍认为,骨结构与形状的变化都始自多功能干细胞的变异。多功能干细胞通过局部起作用的媒介由周围环境接受信号开始局部的特定变异。即加在骨上的载荷一定产生一个信号使细胞明白,从而使结构依功能需要而排列。但是,这种信号的性质、产生过程及细胞发现的过程至今尚不清楚。与骨结构和功能适应理论同时起步的是把骨做为一种材料的研究。

19 世纪 Rauber (1876) 和 Messerer (1880) 的工作至今还被广泛引用。他们最先注意到温度和湿度对骨的强度与弹性的影响,骨对弯曲试验中长时间加载的影响,骨的各向异性行为及不同载荷下骨各自不同的断裂方式。本世纪 50 年代至 70 年代,由于地面交通、空间技术和竞技体育的发展,骨受到冲击载荷的机会越来越多,临床医生及生物医学工作者对骨的力学性质也越来越感兴趣。这一时期发表了大量论文,积累了许多新的生物力学数据。Fukada 和 Yasuda (1957) 发现骨中的压电效应,这是一种只能

在各向异性材料中存在的效应。这就暗示不能把骨看成简单的各向同性材料。Knese (1958) 详细地画出了骨的各级结构,将其分为 5 个层次:纤维与相邻的无机材料、骨板、骨板系统、骨板系统的组合、最后是密质骨与松质骨的分布。Kats (1971) 及其合作者从骨的哈佛氏系统微观结构推导出其力学性质,找到了 4 个结构层次的模型。其它力学特性的研究也为骨做为一种材料的研究做出很大贡献,然而,至今还没有把骨做为一种材料的统一概念。这就不能不发人深思:生物现象到底能否用物理或力学术语表达?把骨看做为一种系统是骨生物力学研究的又一途径。虽然人们认识到生物学中一般存在控制过程还只不过 50 年左右 (Wagner 1954),但早在 Roux (1881) 讨论功能适应性时就引入了“定量自我调节机制”的过程。实质就是我们今天想说明的生物控制。其后,在许多领域都采用了“功能”与“适应”这两个术语。但他把定量调节机制的媒介称为“功能性刺激”,这是一个至今仍需解释的量。因为无法把它确切地归结为骨的任一特定的物理性质或状态。

在半个多世纪中,把骨做为一种系统来研究并没有取得重大进展。直到 1955 年骨生物力学复兴以来,骨重建过程重新引起人们日益增长的兴趣。Pauwels (1960), Frost (1964) 和 Gjelsvik (1973) 提出了 3 个模型,使人们对骨重建的认识日益加深。1980 年前后, Cowin 及其同事首先完整地数学上分析了骨重建过程。此外,通过骨重建过程的大量实验研究,人们进一步弄清了加载骨与卸载骨的系统行为。但骨在外形与功能发生适应的同时,其对弹性起主要作用的内部结构是否也发生适应这一问题至今尚无确定的回答。要想透彻了解骨作为一种系统的行为,我们还要做许许多多事,还有许多问题期待解决,如:影响骨重建的力学变化有哪些性质?是哪些细胞最先感受到这些变化,又怎样做出反应,母体细胞如何聚少成多,单个机械驱动的刺激是否能与系统性的刺激相竞争,骨重建过程有没有特定的结构客体等 (Cowin 等 1984)。

(收稿:2000-01-10 编辑:李为农)