

文章编号: 1004-7220(2023)01-0170-06

雄性大鼠四肢骨生物力学性能增龄性变化

杨林^{1#}, 李曼^{1#}, 黄江¹, 王杰¹, 夏冰¹, 丁九阳¹, 乐翠云¹,
李明杰², 李正东^{3*}, 汪家文^{1*}

(1. 贵州医科大学法医学院, 贵阳 550004; 2. 广西医科大学第一附属医院 病理科, 南宁 530021; 3. 司法鉴定科学研究院上海市法医学重点实验室, 司法部司法鉴定重点实验室, 上海市司法鉴定专业技术服务平台, 上海 200063)

摘要: **目的** 探讨雄性大鼠肱骨、股骨和胫骨生物力学性能增龄性变化规律及其在年龄推断中的应用价值。 **方法** 根据不同周龄, 将 90 只健康雄性 SD 大鼠分为 2、4、6、8、17、26、52、78 和 104 周龄组, 每组 10 只。过量麻醉处死大鼠后分离肱骨、股骨和胫骨并剔除附着软组织, 利用游标卡尺测量上述骨骼长度及中段(受压部位)直径, 利用电子万能材料试验机进行三点弯曲试验以检测极限载荷和极限载荷下位移。 **结果** 不同周龄组雄性大鼠肱骨、股骨和胫骨极限载荷组间差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。随着周龄增长, 肱骨、股骨和胫骨极限载荷均呈先增大后减小趋势, 且都在 52 周龄组达峰值, 52 周龄前与周龄呈强正相关($r = 0.884, 0.933, 0.929, P < 0.05$)。极限载荷下位移除股骨组间差异有统计学意义外($P < 0.05$), 肱骨、胫骨均无统计学意义。股骨极限载荷下位移与周龄呈弱正相关($r = 0.406, P < 0.05$)。52 周龄前大鼠肱骨、股骨、胫骨、3 种骨骼综合极限载荷自动线性建模的年龄预测准确度分别为 78.2%、86.8%、84.1%、88.3%。肱骨、股骨、胫骨长度与极限载荷呈强正相关($r = 0.904, 0.897, 0.814, P < 0.05$)。肱骨、股骨、胫骨中段直径与极限载荷呈强正相关($r = 0.759, 0.814, 0.745, P < 0.05$)。 **结论** 雄性大鼠肱骨、股骨和胫骨极限载荷随周龄增长先增大后减小, 在 52 周龄前与周龄呈正相关, 可用于年龄推断。3 种骨骼极限载荷综合推断年龄准确度最高, 其次为股骨。肱骨、股骨、胫骨长度/中段直径均与极限载荷呈强正相关。

关键词: 大鼠; 肱骨; 股骨; 胫骨; 生物力学; 年龄推断

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.01.025

Age-Related Changes of Biomechanical Properties for Limb Bones in Male Rats

YANG Lin^{1#}, LI Man^{1#}, HUANG Jiang¹, WANG Jie¹, XIA Bing¹, DING Jiuyang¹,
LE Cuiyun¹, LI Mingjie², LI Zhengdong^{3*}, WANG Jiawen^{1*}

(1. School of Forensic Medicine, Guizhou Medical University, Guiyang 550004, China; 2. Department of Pathology, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, China; 3. Shanghai Key Laboratory of Forensic Medicine, Shanghai Forensic Service Platform, Academy of Forensic Science, Ministry of Justice, Shanghai 200063, China)

Abstract: Objective To investigate the age-related changes of biomechanical properties for humerus, femur and tibia in male rats and their application values in age estimation. **Methods** According to different weeks of age, 90 healthy male SD rats were divided into 2, 4, 6, 8, 17, 26, 52, 78 and 104-week groups with 10 rats in each

收稿日期: 2021-12-12; 修回日期: 2022-02-11

基金项目: 贵州省科技厅基金项目(黔科合平台人才[2018]5779-3), 贵州省科技支撑项目(黔科合支撑[2022]一般 280)

通信作者: 汪家文, 副教授, E-mail: wjwfs@126.com; 李正东, 副研究员, E-mail: lizd@ssfd.cn

#为共同第一作者, *为共同通信作者

group. After the rats were executed by excessive anesthesia, humerus, femur, and tibia were separated and the attached soft tissues were removed. The length of the above-mentioned bones and the diameter of the middle section (compression site) were measured with vernier caliper, and the three-point bending test was conducted with electronic universal material testing machine to detect the ultimate load and displacement under ultimate load. **Results** There were significant differences in the ultimate load of humerus, femur and tibia among male rats in different age groups ($P < 0.05$). With the increase of week age, the ultimate loads of the humerus, femur and tibia increased first and then decreased, and reached the peak value in 52-week age group, showing a strong positive correlation with week age before 52 weeks ($r = 0.884, 0.933, 0.929, P < 0.05$). There was no significant difference in humerus and tibia. The displacement of femur under ultimate load was weakly positively correlated with week age ($R = 0.406, P < 0.05$). The age prediction accuracy for automatic linear modeling of ultimate load for humerus, femur, tibia and three above-mentioned bones in rats before 52-week age was 78.2%, 86.8%, 84.1% and 88.3%, respectively. There was a strong positive correlation between the length of humerus, femur and tibia and the ultimate load ($R = 0.904, 0.897, 0.814, P < 0.05$). The diameters of humerus, femur and tibia were strongly positively correlated with the ultimate load ($R = 0.759, 0.814$ and $0.745, P < 0.05$). **Conclusions** The ultimate loads of humerus, femur and tibia in male rats increased first and then decreased with age, and were positively correlated with age before 52 weeks, which could be used for age inference. The highest accuracy of age estimation was ultimate loads of three bones, followed by femur. The length/middle diameter of humerus, femur and tibia were strongly positively correlated with the ultimate load.

Key words: rats; humerus; femur; tibia; biomechanics; age estimation

肱骨、股骨和胫骨是人和哺乳动物典型的长骨组织,由骨干和骨骺构成。随年龄增长,骨骺软骨因不断增生、骨化而使骨的长度增加。成骨细胞和破骨细胞受机体自身年龄变化及外界因素共同影响,二者联合作用,促使骨骼生长发育^[1-2]。

法医鉴定实践中,对白骨化尸体进行年龄推断可为个体识别提供线索,缩小侦查范围,提高办案效率。目前,已有较多学者利用骨骼形态学等方法对个体进行年龄推断,如利用 X 线成像观察手骨区域图像以推断骨龄^[3-5]。江艺^[6]利用股骨形态学特征进行年龄推断,发现随年龄增长,股骨颈干角减小而髁白前倾角增大。Niinimäki 等^[7]研究发现,距肱骨近端约 35% 处皮质骨横截面面积和非附着部位皮质骨厚度随着年龄增长而减小;Zhang 等^[8]研究认为,人类股骨皮质形状及厚度与年龄相关。

也有学者利用骨成分及微量元素含量与年龄之间的关系进行年龄推断。史婧等^[9]研究发现,股骨颈皮质骨比率、股骨颈密度与年龄均呈负相关。林上进等^[10]研究表明,股骨皮质骨与松质骨交界区域的骨铁比重与年龄呈显著正相关。

利用骨骼形态特征进行年龄推断对观察者具有较高的经验要求,且个体差异较大,故存在一定

局限性^[11-12]。而骨成分及微量元素含量检测方法较繁琐,且对样本存在破坏性,使其在实际工作中应用受限。

研究表明,不同年龄个体四肢骨的生物力学性能存在差异,而目前有关肱骨、股骨和胫骨之间生物力学性能差异及其增龄性变化规律的研究鲜有报道^[13-14]。本文利用电子万能材料试验机对不同周龄段大鼠肱骨、股骨和胫骨进行三点弯曲试验,检测其生物力学参数,探讨上述骨骼生物力学参数增龄性变化规律及其在法医年龄推断中的应用价值;利用游标卡尺测量上述 3 种骨骼长度以及受压部位直径,并分析其与生物力学参数的关系。

1 样本与方法

1.1 实验动物及分组

健康雄性 SD 大鼠 90 只,由贵州医科大学实验动物中心提供,按出生周龄分为 2、4、6、8、17、26、52、78、104 周龄组,每组 10 只。本研究经贵州医科大学动物实验伦理委员会批准,实验操作严格按照动物伦理要求进行。

1.2 实验方法

1.2.1 样本预处理 各组大鼠按 1.0 mL/100 g 体

重予 10%水合氯醛溶液腹腔注射,过量麻醉致死后分离大鼠右侧肱骨、股骨和胫骨并剔除表面附着软组织,保留完整骨膜,用浸有生理盐水的湿纱布包裹后放置于托盘中,放在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜中冷冻保存备检^[15]。骨骼样本按批次放入冰柜并于 72 h 后取出,以模拟人尸体在冷柜中保存情形。然后置于生理盐水中,在自然室温条件下解冻后进行几何参数测量及力学参数检测试验。所有样本解冻后 4 h 内完成试验,测量及力学试验前样本于生理盐水中保存。

1.2.2 大鼠四肢骨长度及受压部位直径测量 骨骼长度:用钢尺测量大鼠肱骨、股骨、胫骨长度 3 次,取其平均值^[16]。受压部位直径:用游标卡尺测量大鼠肱骨、股骨、胫骨受压部位(中段)直径 3 次,取其平均值。

1.2.3 大鼠四肢骨三点弯曲压缩试验 将大鼠肱骨、股骨和胫骨置于 KD II-0.2 型电子万能材料试验机(深圳市凯强利试验仪器有限公司)三点弯曲底座上,保持支撑梁水平。使用直径 1 mm 扁平形压具,调节压具接触面高度至刚好接触大鼠肱骨、股骨、胫骨中部。预调 3 次达到稳定状态后在室温下进行三点弯曲试验(见图 1)。加载参数设置:试验速度为 5 mm/min,预加载力为 0.5 N,直至骨折发生,材料试验机自带软件 KPTest Ver B4.3ch(深圳市凯强利试验仪器有限公司)自动输出极限载荷、极限载荷下位移等生物力学材料参数及其相关曲线。

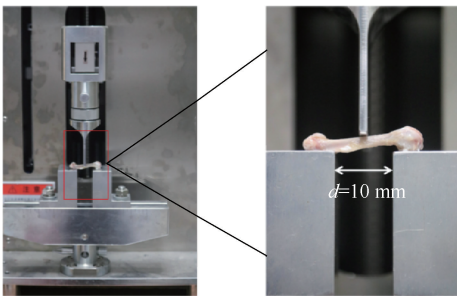


图 1 大鼠股骨三点弯曲试验
Fig. 1 Three-point bending experiment of femur in rats

1.3 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析,数据以均值 \pm 标准差表示。组间比较采用单因素方差分析,进一步两两比较采用最小显著差异(least

significant difference, LSD)法和 Tamhane's 法。采用 Pearson 相关性分析对极限载荷、极限载荷下位移与周龄之间的相关性进行分析。 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。利用 SPSS 26.0 软件对具有明显增龄性变化趋势的大鼠肱骨、股骨、胫骨生物力学参数随周龄变化情况进行自动线性建模,计算其进行年龄推断的准确度。

2 结果

2.1 大鼠四肢骨极限载荷增龄性变化趋势

肱骨、股骨和胫骨极限载荷增龄性变化趋势如图 2 所示。因 2 周龄组大鼠肱骨及股骨太短无法进行三点弯曲试验,故该组大鼠肱骨、股骨实验数据缺失。

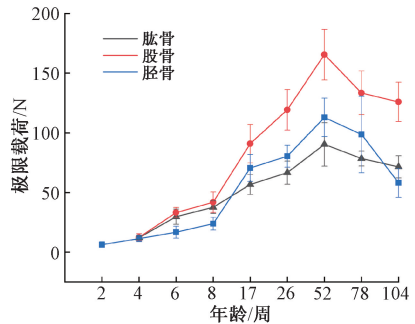


图 2 不同周龄组大鼠四肢骨极限载荷变化趋势
Fig. 2 Trend of ultimate load for limb bones of rats in different age groups

结果显示,不同周龄组大鼠肱骨、股骨和胫骨极限载荷组间差异均具有统计学意义($F=83.547$ 、 186.350 、 223.637 , $P<0.05$);不同周龄组大鼠肱骨极限载荷组间差异具有统计学意义($F=83.547$, $P<0.05$)。两两比较,除 6 与 8 周龄组,17 与 26 周龄组,26 与 78、104 周龄组比较差异不具有统计学意义外,其余两两比较差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

不同周龄组大鼠股骨极限载荷组间差异具有统计学意义($F=186.350$, $P<0.05$)。两两比较,除 6 与 8 周龄组比较差异不具有统计学意义外,其余两两比较差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

不同周龄组大鼠胫骨极限载荷组间差异具有统计学意义($F=223.637$, $P<0.05$)。两两比较,除 4 与 6 周龄组、6 与 8 周龄组、17 与 26 周龄组比较

差异不具有统计学意义外,其余各组两两比较差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。

随周龄增长,大鼠肱骨、股骨和胫骨极限载荷均呈先增大,在52周龄组达高峰,而后呈降低趋势;在52周龄前与周龄呈强正相关($r = 0.884$ 、 0.933 、 0.929 , $P < 0.05$)。

2.2 大鼠四肢骨极限载荷下位移增龄性变化趋势

肱骨、股骨和胫骨极限载荷下位移增龄性变化趋势如图3所示。

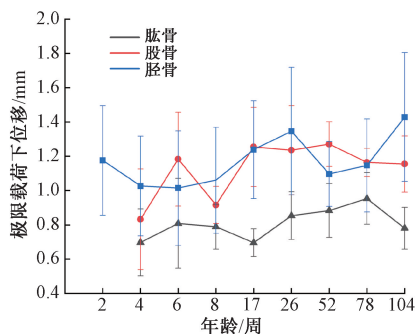


图3 不同周龄组大鼠四肢骨极限载荷下位移变化趋势

Fig.3 Trend of displacement under ultimate load for limb bones of rats in different age groups

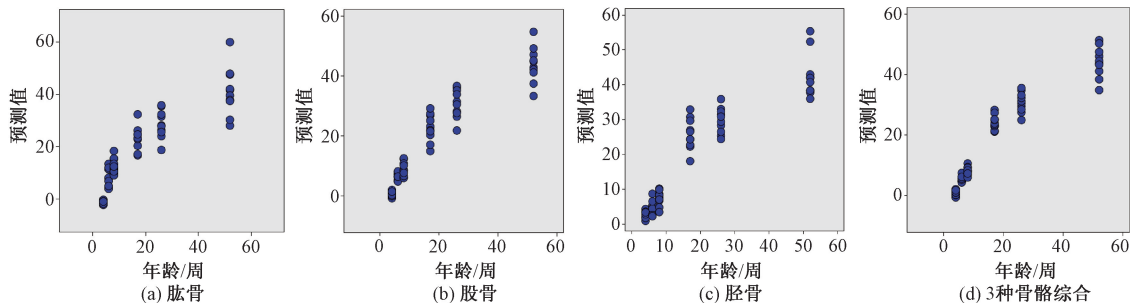


图4 52周龄前大鼠四肢骨极限载荷自动线性建模的年龄预测值

Fig.4 Age prediction of automatic linear modeling of ultimate load for limb bones of rats before 52 weeks in age

(a) Humerus prediction, (b) Femur prediction, (c) Tibia prediction, (d) Comprehensive prediction for three kinds of bone

2.4 大鼠四肢骨长度/受压部位直径与极限载荷、极限载荷下位移的相关性

如图5所示,大鼠肱骨、股骨、胫骨长度与极限载荷呈强正相关($r = 0.904$ 、 0.897 、 0.814 , $P < 0.05$),肱骨、股骨长度与极限载荷下位移呈弱正相关($r = 0.253$ 、 0.483 , $P < 0.05$),胫骨长度与极限载荷下位移无相关性;大鼠肱骨、股骨、胫骨中段直径与极限载荷呈强正相关($r = 0.759$ 、 0.814 、 0.745 , $P < 0.05$),肱骨、股骨中段直径与极限载荷下位移呈

结果显示,极限载荷下位移组间差异除股骨均有统计学意义外($F = 6.148$, $P < 0.05$),肱骨、胫骨均无统计学意义。不同周龄组股骨除4周龄组分别与17、52周龄组,8周龄组分别与17、52、78、104周龄组比较差异具有统计学意义外($P < 0.05$),其余各组比较差异均无统计学意义。

随周龄增长,大鼠股骨极限载荷下位移整体呈先增加至52周达高峰后呈下降趋势,但肱骨在8、17周龄组与前一周龄组相比呈降低趋势,股骨在8、26周龄组表现为与前一周龄组相比呈降低趋势。相关性分析表明,大鼠股骨极限载荷下位移与周龄呈弱正相关($r = 0.406$, $P < 0.05$)。

2.3 52周龄前大鼠四肢骨极限载荷的自动线性建模年龄预测

图4所示为52周龄前大鼠肱骨、股骨、胫骨、3种骨骼综合极限载荷自动线性建模的年龄预测值。结果表明,其预测准确度分别为78.2%、86.8%、84.1%、88.3%,提示在利用肱骨、股骨、胫骨3种骨骼极限载荷单独推断年龄时,股骨的年龄推断准确度最高;3种骨骼极限载荷综合推断年龄的准确度高于任一单独样本。

弱正相关($r = 0.338$ 、 0.428 , $P < 0.05$),胫骨中段直径与极限载荷下位移无相关性。

3 讨论

骨骼是脊椎动物的重要器官组织,承担运动、支持和保护身体、制造红血球和白血球以及储藏矿物质功能。骨骼的形态、机械性能、骨细胞数量及矿物质等在整个生命过程中均在变化^[17]。目前,法医年龄推断最常见的方法为骨龄推断,通常通过

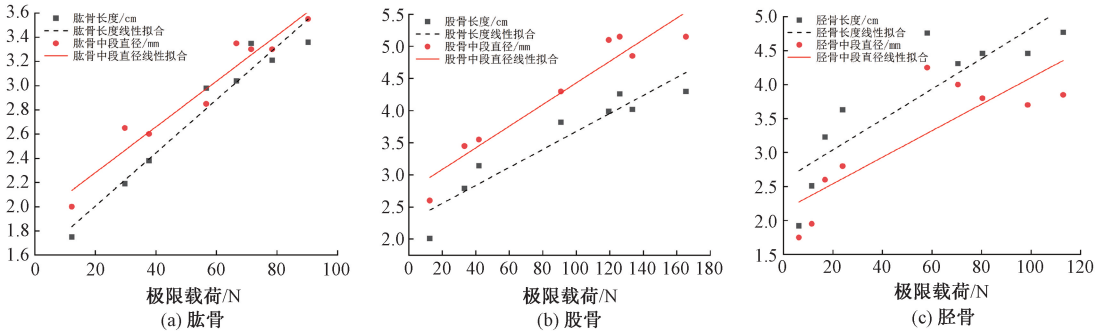


图5 大鼠四肢骨长度/中段直径与极限载荷相关性

Fig.5 Correlation between length/mid-segment diameter of limb bones in rat and ultimate load (a) Humerus, (b) Femur, (c) Tibia

X线片扫描,观察左手掌指骨、腕骨及桡尺骨下端骨化中心的发育程度来确定年龄,但其仍存在精确性不够高、适用年龄范围较窄等局限性^[18]。

关于四肢骨与年龄的关系已有报道。陈玉翠等^[19]研究发现,肥腕股骨、肱骨的形态特征与年龄存在相关性。有研究表明,60岁以下年龄组女性胫骨近端平均骨密度(bone mineral density, BMD)显著高于60岁以上年龄组,且其极限载荷与BMD水平之间存在显著相关性^[20]。Lill等^[21]研究认为,女性肱骨骨密度与年龄存在显著相关性,且与70岁年龄组以下的女性相比,70岁以上年龄组骨密度显著降低。骨骼作为一种硬性生物组织材料,具有特殊的生物力学性能,此前已有分析骨骼生物力学性能与年龄关系的报道^[22]。本课题组前期研究发现,极限载荷、压缩强度及压缩模量在26周龄范围内与周龄存在正相关,且颅骨厚度、骨矿物质密度、骨体积、小梁厚度在52周龄内与周龄呈正相关,肱骨、股骨及胫骨极限载荷及极限载荷下位移是否与周龄相关,尚不清楚^[23]。

本文结果表明,大鼠肱骨、股骨和胫骨极限载荷随周龄增长均呈先增大后减小趋势,且都在52周龄组达峰值,其原因可能与BMD的增龄性变化规律相关。Castillo等^[24]研究发现,40~50岁受试者股骨的BMD随年龄增长而增大,50岁后降低,与本研究股骨极限载荷的变化趋势相吻合。Dalzell等^[25]研究发现,20岁以上女性桡骨平均BMD与年龄呈显著的二次相关,即先增加到达最大后减小;胫骨BMD在40岁以后呈明显下降趋势,与本文结果变化趋势一致。在52周龄前,大鼠肱骨、股骨和

胫骨极限载荷与周龄呈正相关,提示在此周龄段内其可应用于年龄推断。Gluer等^[26]研究表明,2、4、17、26、52、104周龄大鼠分别与婴幼儿(0~2岁)、学龄前儿童(3~5岁)、学龄儿童(10~12岁)、青少年(18~20岁)、中年(35~40岁)和老年(65~70岁)人群相对应,提示大鼠肱骨、股骨和胫骨极限载荷在推断中年及其以前人群年龄中具有优势。

年龄推断准确度是反映推断的年龄与真实年龄的偏离程度,对案件侦破意义重大^[19]。本研究发现,肱骨、股骨、胫骨3种骨骼极限载荷综合推断年龄准确度最高,其次为股骨,提示在条件具备时,应综合采用上述3种骨骼极限载荷建立数学模型推断年龄;如采用单一骨骼生物力学参数进行年龄推断,应优先采用股骨。

本研究的局限性如下:①只探讨雄性大鼠肱骨、股骨、胫骨生物力学性能随年龄的变化趋势,未分析雌性大鼠骨骼生物力学性能的增龄性变化规律;②仅选用处死时间较短的大鼠新鲜四肢长骨骨骼样本,未研究不同条件下(如干燥、腐败、长期冰冻等)的骨骼增龄性变化规律。

4 结论

大鼠肱骨、股骨和胫骨极限载荷均随周龄增长先增大后减小,在52周前与周龄呈正相关,在此区间可用于大鼠周龄推断;肱骨、股骨、胫骨3种骨骼极限载荷综合推断年龄最具优势,其次为股骨;肱骨、股骨、胫骨长度/中段直径均与极限载荷呈强正相关,肱骨、股骨长度/中段直径与极限载荷下位移呈弱正相关。

参考文献:

- [1] 陈明洲, 李朝旭, 贵鹏, 等. R-spondins 调控 WNT/ β -catenin 信号通路的机制及其对骨骼系统的影响[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(2): 298-302.
- [2] MARTIN TJ, SIMS NA. Osteoclast-derived activity in the coupling of bone formation to resorption [J]. Trends Mol Med, 2005, 11(2): 76-81.
- [3] LEE JH, KIM YJ, KIM KG. Bone age estimation using deep learning and hand X-ray images [J]. Biomed Eng Lett, 2020, 10(3): 323-331.
- [4] LEE JH, KIM KG. Applying deep learning in medical images: The case of bone age estimation [J]. Healthc Inform Res, 2018, 24(1): 86-92.
- [5] ZULKIFLEY MA, MOHAMED NA, ABDANI SR, *et al.* Intelligent bone age assessment: An automated system to detect a bone growth problem using convolutional neural networks with attention mechanism [J]. Diagnostics, 2021, 11(5): 765.
- [6] 江艺. 一项对 466 个中国汉族健康成人的回顾性分析: 年龄对股骨近端几何形态的影响[D]. 广州: 南方医科大学, 2016.
- [7] NIINIMAKI S, SODERLING S, JUNNO JA, *et al.* Cortical bone thickness can adapt locally to muscular loading while changing with age [J]. Homo, 2013, 64(6): 474-490.
- [8] ZHANG J, HISLOP-JAMBRICH J, BESIER TF. Predictive statistical models of baseline variations in 3-D femoral cortex morphology[J]. Med Eng Phys, 2016, 38(5): 450-457.
- [9] 史婧, 芮云峰, 闵婕, 等. 股骨颈骨密度及骨皮质比率与性别、年龄关系的影像学研究[J]. 现代医学, 2021, 49(1): 34-38.
- [10] 林上进, 杨丰建, 林伟龙, 等. 年龄对老年股骨粗隆间骨折患者骨组织钙、磷及金属微量元素相对含量的影响[J]. 复旦学报(医学版), 2018, 45(4): 521-525.
- [11] SCHMIDT S, OTTOW C, PFEIFFER H, *et al.* Magnetic resonance imaging-based evaluation of ossification of the medial clavicular epiphysis in forensic age assessment [J]. Int J Legal Med, 2017, 131(6): 1665-1673.
- [12] SAN-MILLAN M, RISSECH C, TURBON D. Shape variability of the adult human acetabulum and acetabular fossa related to sex and age by geometric morphometrics. Implications for adult age estimation [J]. Forensic Sci Int, 2017, 272: 50-63.
- [13] AMBROSE CG, SOTO MARTINEZ M, BI X, *et al.* Mechanical properties of infant bone [J]. Bone, 2018, 113: 151-160.
- [14] KATZENBERGER MJ, ALBERT DL, AGNEW AM, *et al.* Effects of sex, age, and two loading rates on the tensile material properties of human rib cortical bone [J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2020, 102: 103410.
- [15] 程朋真, 宁芬茹, 李丹, 等. 不同保存方式对小鼠股骨力学性能的影响[J]. 生物医学工程学杂志, 2016, 33(6): 1133-1138.
- [16] 段全红, 赵天飙, 李新民, 等. 啮齿动物骨骼测量方法[J]. 内蒙古地方病防治研究, 1994(2): 54-55.
- [17] BOSKEY AL, COLEMAN R. Aging and bone[J]. J Dent Res, 2010, 89(12): 1333-1348.
- [18] 李媛, 赵欢, 梁伟波, 等. 计算机辅助法医影像学骨骼个体识别的研究进展[J]. 法医学杂志, 2021, 37(2): 239-247.
- [19] 陈玉翠, 陈锦云. 基于骨龄学方法鉴定大别山商城肥皖的年龄[J]. 生态学杂志, 2021, 40(10): 3205-3213.
- [20] KHODADADYAN-KLOSTERMANN C, VON SEEBACH M, TAYLOR WR, *et al.* Distribution of bone mineral density with age and gender in the proximal tibia [J]. Clin Biomech, 2004, 19(4): 370-376.
- [21] LILL H, HEPP P, GOWIN W, *et al.* Age-and gender-related distribution of bone mineral density and mechanical properties of the proximal humerus [J]. Rofo, 2002, 174(12): 1544-1550.
- [22] 马新颖, 满喜. 不同年龄段人群行走足底压力特征分析[J]. 医用生物力学, 2020, 35(1): 108-113.
- MA XY, MAN X. Analysis on characteristics of plantar pressures in different age groups during walking [J]. J Med Biomech, 2020, 35(1): 108-113.
- [23] 李曼, 李明杰, 黄江, 等. 大鼠颅骨材料力学和骨质参数的增龄性变化[J]. 法医学杂志, 2021, 37(1): 1-6.
- [24] CASTILLO RF, RUIZ MDEL C. Assessment of age and sex by means of DXA bone densitometry: Application in forensic anthropology [J]. Forensic Sci Int, 2011, 209(1-3): 53-58.
- [25] DALZELL N, KAPTOGE S, MORRIS N, *et al.* Bone micro-architecture and determinants of strength in the radius and tibia: Age-related changes in a population-based study of normal adults measured with high-resolution pQCT[J]. Osteoporos Int, 2009, 20(10): 1683-1694.
- [26] GLUER CC, VAHLENSIECK M, FAULKNER KG, *et al.* Site-matched calcaneal measurements of broad-band ultrasound attenuation and single X-ray absorptiometry: Do they measure different skeletal properties? [J]. Bone Miner Res, 1992, 7(9): 1071-1079.