



卢 静, 首都医科大学基础医学院教授、博士研究生导师, 从教30余年来始终在本科和研究生教学一线, 履行着教书育人的光荣使命。同时担任中国实验动物学会常务理事、北京实验动物学会常务理事等职, 为北京市乃至我国的实验动物科学发展做了大量工作。作为中国实验动物学会高校专业教育和学科建设工作委员会主任委员, 积极组织筹备实验动物学教学研讨会, 提高了我国实验动物学专业人才培养的质量和数量, 提高了全国各高校和科研院所“实验动物学”公共课教学水平, 在推动我国实验动物学学科发展和进步中发挥了重要作用。此外, 担任首都医科大学实验动物部主任和基础医学院实验动物学系主任10年, 在服务管理、人才培养、科学研究、传承创新等方面都取得了显著成绩, 带领研究团队开展实验动物新资源和人类疾病动物模型相关研究, 承担科技部、国家自然科学基金委等资助的多项课题, 近年来在 *Nature Communications*、*Aging Cell* 等知名期刊发表多篇研究论文, 主编或参编《医学实验动物学》《实验动物寄生虫学》等多部实验动物专业教材。

不同周龄段雄性长爪沙鼠肾小体的形态变化

李 梦¹, 陈柏安^{1,2,3}, 卢 静^{1,2,3}

(1. 首都医科大学实验动物部, 北京100069; 2. 首都医科大学基础医学院, 北京100069; 3. 首都医科大学神经再生修复研究北京市重点实验室, 北京100069)

[摘要] **目的** 通过观察比较不同周龄段的雄性长爪沙鼠的肾脏在最大纵切面上肾小体的变化, 初步探索不同周龄段雄性长爪沙鼠肾小体可能存在的变化规律, 为选择雄性长爪沙鼠用于肾病相关致病机制及药物筛选等研究提供基础数据支持。**方法** 分别取12周龄、48周龄、72周龄3个周龄段的雄性长爪沙鼠肾脏, 从最大冠状面纵切后制成肾脏组织切片; 苏木精-伊红染色后, 全景扫描成电子组织切片, 利用CaseViewer拍摄最大纵切面上肾小体图片, 并测量肾小体及其所包含的肾小球、肾小囊面积; 使用IBM SPSS Statistics 27进行统计分析, 使用GraphPad Prism 8制作图表。**结果** 与12周龄相比, 48周龄时肾小体 ($P=0.029$)、肾小球 ($P=0.001$) 的面积均显著增大, 肾小囊面积没有明显变化 ($P=0.478$), 肾小球在其肾小体中的面积占比有增大趋势, 但差异无统计学意义 ($P=0.163$); 与48周龄相比, 72周龄时肾小体、肾小球和肾小囊面积均显著增大 ($P<0.001$), 但肾小球在其肾小体中的面积占比显著减小 ($P<0.001$)。**结论** 12~72周龄的雄性长爪沙鼠肾小体持续增大, 在这个增大过程中可能存在一定规律, 即肾小球与肾小体的增大趋势相对一致; 而肾小囊与肾小体相比, 其增大趋势存在一定滞后性, 推测肾小体增大主要是由肾小球增大引起, 进而导致肾小囊被动增大造成的; 肾小体增大可能是通过多次“肾小球增大-引发肾小囊增大”完成。

[关键词] 雄性长爪沙鼠; 肾小体; 肾小球; 肾小囊

[中图分类号] Q95-33; R-332 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2024)05-0487-08



Morphological Changes of Renal Corpuscles in Male Mongolian Gerbils at Different Ages

LI Meng¹, CHEN Bai'an^{1,2,3}, LU Jing^{1,2,3}

(1. Department of Experimental Animals, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 2. School of Basic Medical Sciences, Capital Medical University, Beijing 100069, China; 3. Beijing Municipal Key Laboratory for Neural Regeneration and Repairing, Capital Medical University, Beijing 100069, China)

Correspondence to: LU Jing, E-mail: lujing@ccmu.edu.cn

[ABSTRACT] **Objective** By observing and comparing the changes in renal corpuscles at the largest longitudinal section in male Mongolian gerbils of different ages, this study preliminarily explored potential

[基金项目] 国家重点研发计划重点专项子课题“新型实验动物资源库服务科技创新能力提升的关键技术与示范”(2021YFF0702805)

[第一作者] 李 梦(1981—),男,硕士,主管技师,研究方向:长爪沙鼠病理。E-mail: lm_bshlm@126.com

[通信作者] 卢 静(1969—),女,博士,教授,主要从事学习记忆功能障碍疾病动物模型和实验动物资源研究。E-mail: lujing@ccmu.edu.cn

patterns of renal corpuscle changes, providing foundational data for the selection of male Mongolian gerbils for research on the pathogenic mechanisms and drug screening of nephropathy. **Methods** Kidney samples were collected from male Mongolian gerbils aged 12, 48, and 72 weeks. After making longitudinal cuts along the largest coronal plane in the middle, kidney tissue sections were prepared. Following HE staining, panoramic electronic tissue sections were scanned, and images of renal corpuscles at the largest longitudinal plane were captured using CaseViewer. The areas of renal corpuscles and their glomeruli and renal vesicles were measured. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics 27, and figures were created using GraphPad Prism 8. **Results** Compared with the 12-week group, both the area of renal corpuscle ($P=0.029$) and glomerulus ($P=0.001$) significantly increased in the 48-week group, while there was no significant change in the area of renal vesicle ($P=0.478$). The proportion of glomerular area within the renal corpuscle showed an increasing trend but the difference was not statistically significant ($P=0.163$). Compared to the 48-week group, the areas of renal corpuscle, glomerulus, and renal vesicle were all significantly larger in the 72-week group ($P<0.001$), but the proportion of glomerular area within renal corpuscle decreased significantly ($P<0.001$). **Conclusion** The renal corpuscles in male Mongolian gerbils continued to increase from 12 to 72 weeks of age. There might be a certain pattern in this process of enlargement, where the trends of glomerular and renal corpuscle enlargement were relatively consistent. However, the enlargement of renal vesicles appeared to lag behind that of the renal corpuscle. It was speculated that the enlargement of renal corpuscles was mainly caused by the passive enlargement of renal vesicles due to glomerular enlargement. The enlargement of renal corpuscles might be achieved through multiple cycles of "glomerular enlargement - triggering renal vesicle enlargement".

[Key words] Male Mongolian gerbil; Renal corpuscles; Glomerulus; Renal vesicle

长爪沙鼠 (Mongolian gerbil) 自被开发为实验动物以来, 因具有特殊的生理结构和功能特点, 在速发型高脂血症^[1]、动脉粥样硬化^[2]、脑缺血^[3]、非酒精性脂肪肝肝硬化^[4]、自发性糖尿病^[5-6]、癫痫^[7]、感音神经性耳聋^[8]、寄生虫感染^[9]、抑郁症^[10]等疾病机制及治疗研究方面被广泛应用。随着研究的深入, 长爪沙鼠在生物医药领域的研究价值和应用前景不断扩大, 引起了越来越多研究人员的关注。

然而作为一种“新兴”的实验动物, 长爪沙鼠的脏器功能、基础指标研究尚不够全面和深入, 这给实际的研究工作带来了一些困难。就肾脏而言, 目前已有关于长爪沙鼠生长过程中肾脏质量、脏器指数^[11-12]、肾单位密度、肾小球大小变化和肾小管数量^[13]等的研究, 但对其肾脏生理、病理特性的深入研究还略显不足。比如, 糖尿病肾病是一种由糖尿病引发的微血管并发症, 其主要病变部位为肾小球血管, 之后可能逐渐累及肾小管; 但相关研究显示, 还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸脱氢酶3 (nicotinamide adenine dinucleotide dehydrogenase, ND3) 是与糖尿病发病高度相关的线粒体呼吸链复合物 I 的重要组成部分, 仅在患有糖尿病肾病的长爪沙鼠的肾小管上皮细胞中高表达^[8]。这一发现提示长爪沙鼠肾脏具有的特殊生理特性亟须明确。

正是由于肾脏结构和功能特点不明, 长爪沙鼠作为模型动物用于肾脏相关研究的文献报告并不多, 即使被选用, 也未能显示出其有别于传统大鼠和小鼠的特点和价值。因此, 本研究通过仔细观察、记录和分析不同周龄雄性长爪沙鼠肾小体的生长变化情况, 为选用雄性长爪沙鼠进行肾脏相关研究提供基础数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验动物

雄性长爪沙鼠 (SPF) 级购自首都医科大学实验动物部 [SCXK (京) 2022-0013], 饲养于本单位中控制温湿度的 SPF 屏障环境 [SYXK (京) 2022-0049]。实验按长爪沙鼠周龄分为 12 周龄、48 周龄和 72 周龄 3 个组别, 每组 6 只。本实验经首都医科大学实验动物伦理委员会批准 (审批号: AEEI-2021-292)。

1.2 肾脏组织结构观察

雄性长爪沙鼠取血后, 通过颈椎脱臼法安乐死, 快速摘取肾脏, 吸干表面水分后, 使用电子天平 (德国 Acculab 公司, 型号 ALB-124) 称其湿重。然后取最大面从中间纵切肾脏, 放入 4% 多聚甲醛溶液中固定。

固定后的肾脏组织经脱水、包埋后切片 (厚度 4 μm)

待用,将石蜡切片置于60℃烘箱中烘片2~3 h;脱蜡、水化后,苏木精染色3~8 min,流水冲洗;1%盐酸乙醇溶液分化30 s(观察分化效果),用流水冲洗;1%氨水溶液返蓝30 s,流水冲洗;镜检见着色后进行伊红染液染色1~3 min;最后,将染色后的切片脱水、封固,晾干后使用3D HISTECH全景扫描仪(匈牙利3D HISTECH公司,型号Pannoramic MIDI)扫描成电子图片。

1.3 图像分析及数据统计

使用CaseViewer软件采集图像,应用GraphPad Prism 8软件进行图像统计分析。首先,在40倍焦距下,从每只雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面中随机选取30个肾小体,并测量肾小体、肾小球、肾小囊的面积,计算肾小球占比;然后,从每组中随机选取1只雄性长爪沙鼠,在40倍焦距下测量该沙鼠肾脏最大纵切面中所有肾小体、肾小球、肾小囊的面积,并计算肾小球占比。

1.4 统计学分析

应用IBM SPSS Statistics 27软件进行实验结果分析。肾小体、肾小球、肾小囊的面积,以及肾小球占比数据均以均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示;采用单因素方差分析进行多组间比较,组内两两比较采用LSD-*t*检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

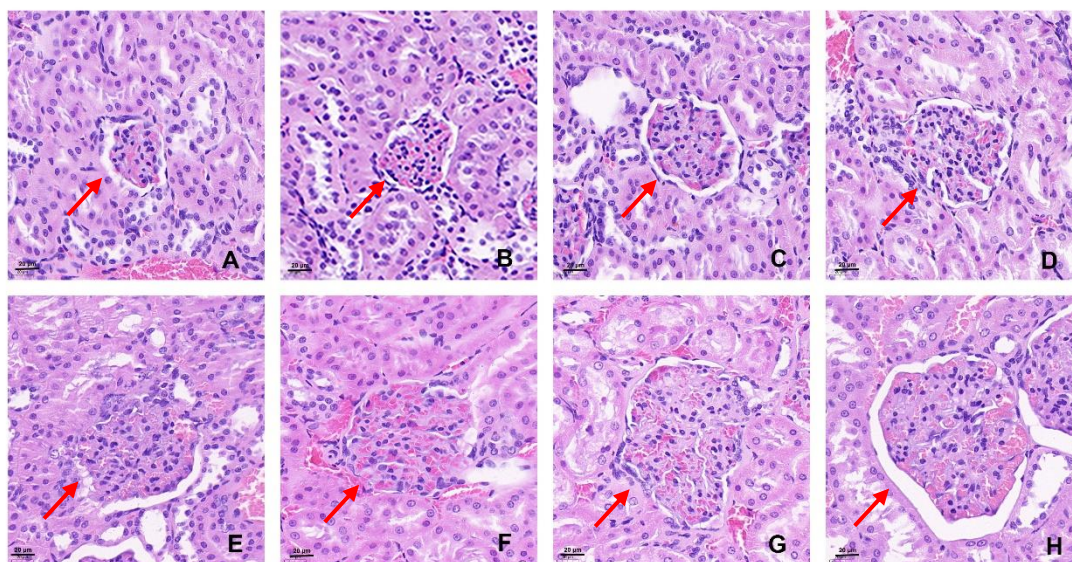
2 结果

2.1 随周龄增长,雄性长爪沙鼠的肾小体和肾小球持续增大,而肾小囊增大明显滞后

本实验通过阅片发现,在雄性长爪沙鼠肾脏最大纵切面上呈现出的肾小体面积大小不一。图1列举出了横截面积为2 000~16 000 μm^2 不等的肾小体,这种现象在雄性长爪沙鼠3个周龄段中是一致的。为了探究随着雄性长爪沙鼠的周龄增长,肾小体面积整体是否会出现差异变化,本实验测算了3个周龄段雄性长爪沙鼠肾脏最大纵切面上肾小体面积的平均值和标准差,并通过统计学方法加以验证。首先,在3个周龄段中,对每只雄性长爪沙鼠随机选取30个视野进行比较;得出一定结论后,再随机抽取每个周龄1只雄性长爪沙鼠,比较其肾脏最大纵切面上的所有肾小体,从而尽可能消除随机选取30个视野对结论产生的影响;最终将两种结论进行比较。

2.1.1 对每只雄性长爪沙鼠随机选取30个视野进行比较

在12~72周龄的周龄段中,雄性长爪沙鼠的肾小体持续增大:与12周龄相比,48周龄雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面上肾小体面积显著增大($P=0.029$);与48周相比,72周龄雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面



注:40×10倍焦距下不同横截面积(A~H图分别为2 476.0、3 211.0、5 089.6、6 502.2、8 534.3、10 320.7、13 010.6、15 427.0 μm^2)的肾小体图片(红色箭头所指),比例尺大小为20 μm 。

Note: Images of renal corpuscles with different cross-sectional areas (the area of A-H images are 2 476.0, 3 211.0, 5 089.6, 6 502.2, 8 534.3, 10 320.7, 13 010.6, 15 427.0, μm^2 , respectively) at a magnification of 40 × 10 times (indicated by red arrows), with a scale bar size of 20 μm .

图1 雄性长爪沙鼠不同面积肾小体的苏木精-伊红染色结果

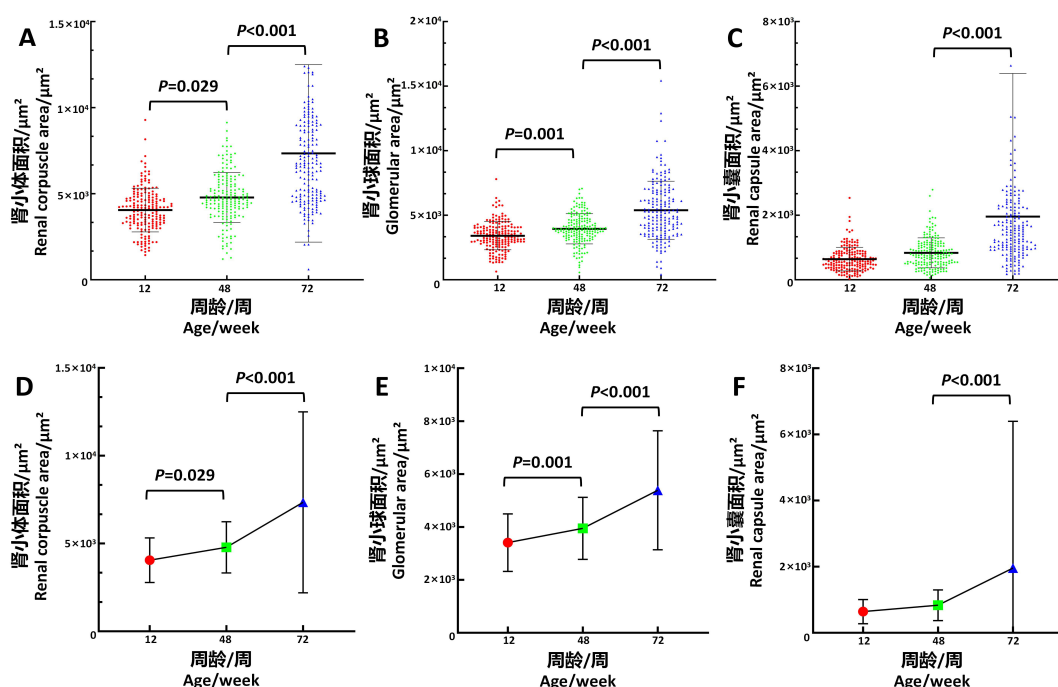
Figure 1 Hematoxylin and eosin staining results of renal corpuscles of different sizes in male Mongolian gerbils

上肾小体面积也显著增大 ($P<0.001$) (图2A和D)。

在12~72周龄的周龄段中, 雄性长爪沙鼠的肾小球也持续增大: 与12周龄相比, 48周龄雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面上肾小球面积显著增大 ($P=0.001$); 与48周龄相比, 72周龄雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面上肾小球面积也显著增大 ($P<0.001$) (图2B和E)。

不同的是, 在12~72周龄的年龄段中, 肾小囊增大的趋势并不完全与同时期肾小体和肾小球面积增大

的趋势保持一致。即有些肾小球明显增大的同时, 肾小囊也明显增大; 而有些肾小球明显增大的同时, 肾小囊却未见明显增大。这种不一致的趋势在12周龄和48周龄尤为明显: 与12周龄相比, 48周龄雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面上肾小囊未见明显增大 ($P=0.478$); 与48周龄相比, 72周龄雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面上肾小囊显著增大 ($P<0.001$) (图2C和F)。



注: 每只雄性长爪沙鼠随机选取30个视野, 测量30套肾小体、肾小球和肾小囊的面积 ($n=6$); A~C是3个周龄段肾小体、肾小球、肾小囊面积散点图; D~F是3个周龄段肾小体、肾小球、肾小囊面积趋势图。

Note: 30 fields of view were randomly selected from each male Mongolian gerbil, and the areas of 30 sets of renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicles were measured ($n=6$); A-C are scatter plots of renal corpuscle, glomerulus, and renal vesicle area at three age groups; D-F are trend charts of renal corpuscle, glomerulus, and renal vesicle area at three age groups.

图2 不同周龄雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面上肾小体、肾小球、肾小囊大小比较

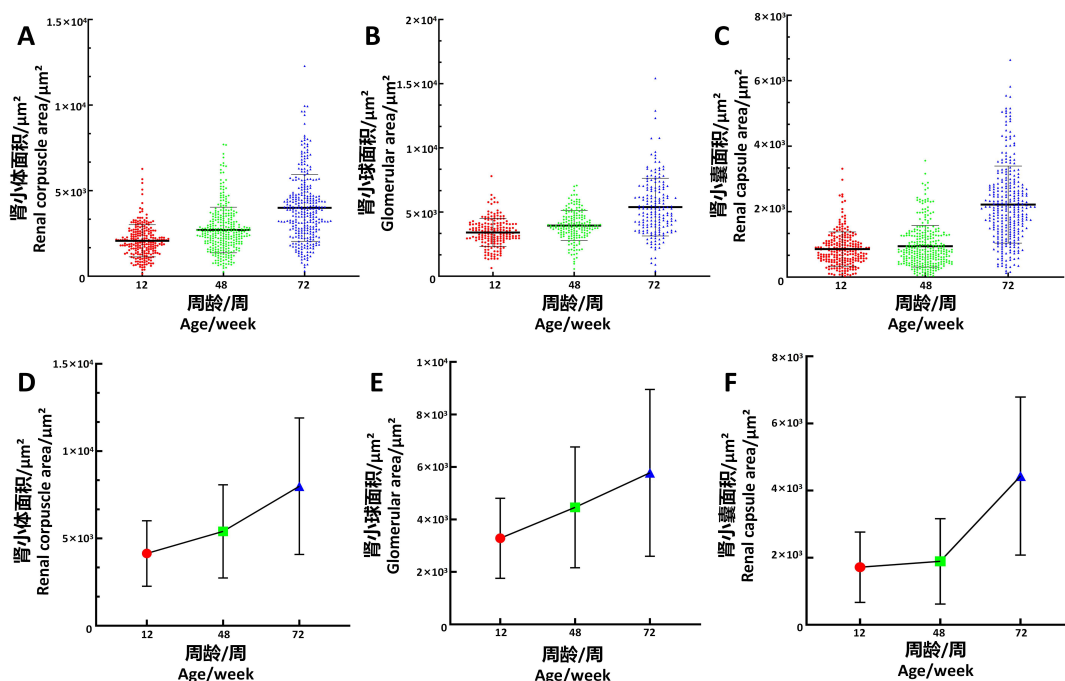
Figure 2 Comparison of sizes of renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicles on the largest longitudinal section of the kidneys in male Mongolian gerbils of different ages

2.1.2 对每个周龄段的雄性长爪沙鼠随机抽取1只进行比较

在整个肾小体持续增大过程中, 肾小体面积 (图3A和D) 与肾小球面积 (图3B和E) 的增大趋势是相对一致的。这与上面的比较结论一致。而该过程中, 肾小囊的增大出现了滞后性: 48周龄与12周龄相比, 肾小囊的增大趋势不明显, 直到48~72周龄, 肾小囊才快速增长 (图2C和F)。

2.2 随周龄增长, 雄性长爪沙鼠的肾小球在其肾小体中占比明显降低

本实验发现, 在雄性长爪沙鼠肾脏的肾小体横截面积随周龄增加而增大的过程中, 肾小球并不全是与该肾小体同步增大的。为了更准确地描述这一现象, 应用肾小球面积在肾小体面积中的占比来反映这一关系。图4列举了50%~100%区间内不同面积占比的肾小球-肾小体, 这种情况在雄性长爪沙鼠的3个周龄段



注：不同周龄组随机选取1只雄性长爪沙鼠，测量其肾脏最大纵切面上所有肾小体、肾小球和肾小囊的面积，12周测量了236套肾小体、肾小球、肾小囊，48周测量了302套，72周测量了298套。A~C是肾小体、肾小球、肾小囊面积散点图；D~F是肾小体、肾小球、肾小囊面积趋势图。

Note: Randomly select one male Mongolian gerbil at each week of age and measure the area of all renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicles on the largest longitudinal section of its kidney; 236, 302 and 298 sets of renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicles were measured at 12 weeks, 48 weeks, and 72 weeks respectively; A-C are scatter plots of renal corpuscle, glomerulus, and renal vesicle area; D-F are trend charts of renal corpuscle, glomerulus, and renal vesicle area.

图3 不同周龄组随机抽取1只雄性长爪沙鼠的肾脏最大纵切面上肾小体、肾小球、肾小囊大小比较

Figure 3 Comparison of the size of renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicles on the largest longitudinal section in a male Mongolian gerbil randomly selected from different age groups

中均有出现。因此，为了探究随着雄性长爪沙鼠周龄增加，肾小球-肾小体面积占比在整体上有无变化趋势，本实验测算了3个周龄段中，雄性长爪沙鼠肾脏最大纵切面上肾小球-肾小体面积占比的平均值和标准差，并通过统计学方法加以验证。首先，在3个周龄段中，对每只雄性长爪沙鼠随机选取30个视野进行比较；之后在每个周龄段随机抽取1只雄性长爪沙鼠，对其肾脏最大纵切面上所有肾小球-肾小体面积占比进行比较，以此尽可能消除随机选取30个视野对结论产生的影响；最终将二者的结论进行比较。

2.2.1 对每只雄性长爪沙鼠随机选取30个视野进行比较

48周龄与12周龄相比，肾小球占比有降低趋势，但无统计学意义 ($P=0.163$)；而72周龄与48周龄相比，肾小球占比显著降低 ($P<0.001$) (图5A、B)。

2.2.2 对每个周龄段的雄性长爪沙鼠随机抽取1只进行比较

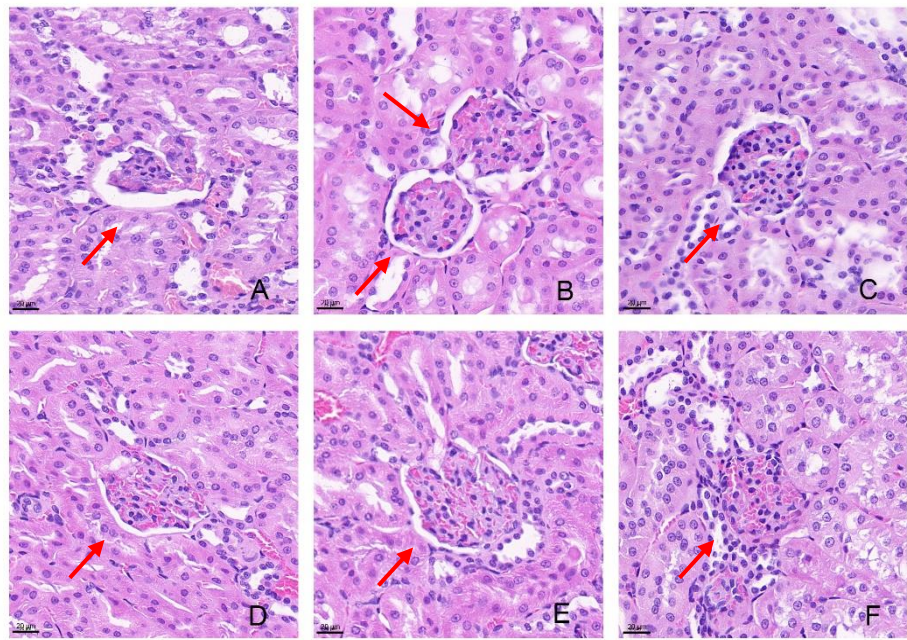
在12~72周龄的生长过程中，肾小球占比呈现先

上升再下降的趋势，即72周龄与48周龄对比时具有下降趋势，但48周龄与12周龄对比时更大样本量的比较具有上升趋势 (图5C、D)。这与前一种比较方法所得结果稍有区别。

3 讨论

肾小体作为肾单位的组成部分之一，是由肾小球和肾小囊组成。研究显示，随着周龄的增加，人体肾脏中的肾小球逐渐硬化并增大，而雄性长爪沙鼠同其他鼠类一样，也有类似于人的肾小球随周龄增大而硬化的特点^[13-15]。以往研究更多关注于肾小球增大过程中本身的病理机制及对肾相关功能的影响，而对于肾小体和肾小囊的变化趋势关注较少。肾小球、肾小囊、肾小体三者之间是始终协调一致、同步增大，还是有不同的变化趋势，探讨清楚这个问题有可能为相关研究提供新的思路。

本研究显示，在12~72周龄时，雄性长爪沙鼠肾小球与肾小体的增大趋势与之前报告的研究结果一

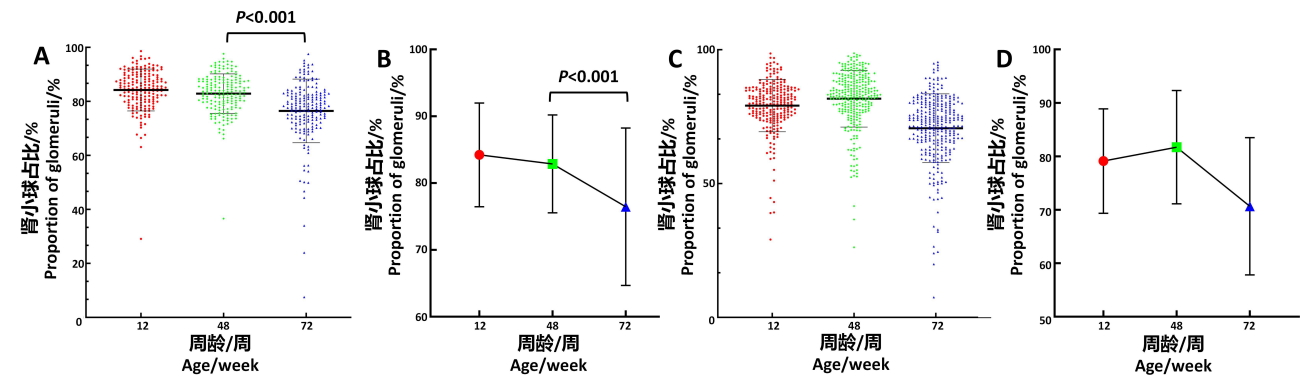


注：40×10倍焦距下不同肾小球占比[A：54.1%；B：66.9%（左下）/69.9%（右上）；C：73.7%；D：80.9%；E：83.0%；F：97.0%]的肾小体图片（红色箭头所指），比例尺大小为20 μm。

Note: Images of renal corpuscles with different proportions of glomeruli at magnification of 40 × 10 times (indicated by red arrows). A: 54.1%; B: 66.9% (bottom left)/69.9% (top right); C: 73.7%; D: 80.9%; E: 83.0%; F: 97.0%, with a scale bar size of 20 μm.

图4 雄性长爪沙鼠不同大小肾小球占比的苏木精-伊红染色结果

Figure 4 Hematoxylin and eosin staining results of the different proportion of glomerular in male Mongolian gerbils



注：A，C为肾小球占比散点图；B，D为肾小球占比趋势图。A～B，每只雄性长爪沙鼠随机选取30个视野，测量30套肾小体、肾小球和肾小囊的面积（ $n=6$ ）；C～D，每个周龄随机取1只雄性长爪沙鼠，测量肾脏最大纵切面上所有肾小体、肾小球、肾小囊的面积，12周龄测量了236套肾小体、肾小球、肾小囊，48周龄测量了302套，72周龄测量了298套，计算肾小球占肾小体的面积之比。

Note: A and C are scatter plots of glomerular proportions; B and D are the trend charts of glomerular proportion. A-B 30 fields of view were randomly selected from each male Mongolian gerbil, and the areas of 30 sets of renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicles were measured ($n=6$); C-D, One male Mongolian gerbil was randomly selected at each week of age, and the area of all renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicle of on the largest longitudinal section of the kidneys was measured. 236, 302 and 298 sets of renal corpuscles, glomeruli, and renal vesicles were measured at 12 weeks, 48 weeks, and 72 weeks respectively. The ratio of glomeruli to renal corpuscle area was calculated.

图5 不同周龄雄性长爪沙鼠肾脏最大纵切面上肾小球占比大小比较

Figure 5 Comparison of the proportion of glomerular area on the largest longitudinal section of the kidneys in male Mongolian gerbils of different ages

致^[16]。比较48周龄与12周龄、72周龄与12周龄的数据可见,肾小体与肾小球显著增大。相比之下,肾小囊增大似乎呈现出滞后性,与12周龄相比,肾小囊在48周龄时略有增大,但没有统计学意义;而到了72周龄时,与48周龄相比显著增大,其增大趋势甚至超过了同期肾小球的增大趋势(图3)。这可能与肾小体有效滤过压的提高有关。有效滤过压=肾小球毛细血管压-(血浆胶体渗透压+囊内压),肾小球增大无疑可以提高肾小球毛细血管压,但是肾小球与肾小囊之间存在“空洞”的囊性结构,导致肾小囊对肾小球增大的回应比较迟钝,其内层被挤压扩张后,逐渐压缩肾小囊的体积,导致囊内压升高。随着囊内压增大,这种来自肾小球增大的压力才滞后性地从肾小囊脏层逐渐波及其壁层,从而导致肾小囊爆发式增大,以快速降低囊内压,提高肾小球毛细血管压和有效滤过压,最终利于原尿产生,满足机体需要。由此推测,肾小体增大并不是一步到位的,随着周龄增长,肾小体是通过多次“肾小球增大—引发肾小囊增大”的过程逐步完成的。

本研究发现,雄性长爪沙鼠肾小球虽然随着周龄逐渐增大(图2~3),但是肾小球在肾小体中的面积占比并不是保持不变的:在起初阶段不会出现显著下降(甚至存在升高的可能),而之后出现极显著性下降(图5)。这一现象表明,肾小体的增大并不是由肾小球和肾小囊同比例增大完成的,肾小球增大需要肾小囊更高的比例增大来配合,以此维持肾小体的有效滤过压,保证原尿生成的稳定性,以满足机体需要。由此推测,肾小球增大时若肾小囊在一定时间内无法伴随其显著增大,将导致囊内压升高并长期作用于肾小球毛细血管球,这可能是肾小球增大后进一步硬化的原因之一。

一般认为,雄性大鼠的体成熟时间为90日龄^[16],1个月相当于人类的3年^[17]。由于雄性长爪沙鼠的相关研究尚不明确,因此本实验参照大鼠,选择了12周龄、48周龄和72周龄这3个时间节点进行观察。这些时间节点大致相当于长爪沙鼠的青春期、青年期和中年期,以此初步研究雄性长爪沙鼠随着周龄增长,其肾小体、肾小球和肾小囊各自的变化趋势。雌性长爪沙鼠是否有类似的变化趋势,以及这些趋势是否会受雌性特殊生理功能的影响,将会在之后的实验中加以探究。

综上所述,随着周龄增长,雄性长爪沙鼠的肾小体会逐渐增大。在肾小体增大过程中,肾小球基本保

持着与肾小体同步增大的趋势;而肾小囊的增大会出现一定的滞后性,随后进入快速增大期。这种差异性可能与肾小体有效滤过压的变化与调节有关,肾小球在其肾小体中的面积占比可能是一个有意义的切入点,本研究有望为相关肾功能衰减以及肾小球硬化和坏死等研究提供一些基础数据支持。

[医学伦理声明 Medical Ethics Statement]

本研究所涉及的所有动物实验均已通过首都医科大学实验动物伦理委员会批准(审批号:AEEI-2021-292)。所有实验过程均遵照中国实验动物相关法律法规条例要求进行。

All animal experiments involved in this study have been approved by the Experimental Animal Ethics Committee of Capital Medical University (Approval Number: AEEI-2021-292). All experimental processes were conducted in accordance with the relevant laws and regulations on experimental animals in China.

[作者贡献 Author Contribution]

李梦实施研究、数据采集、统计分析和解释、起草文章;陈柏安和卢静对文章的知识性内容作批评性审阅,并提供指导。

[利益声明 Declaration of Interest]

所有作者均声明本文不存在利益冲突。

[参考文献 References]

- [1] 钟民涛,黄敏,卢静,等.长爪沙鼠速发型高脂血症模型的初步建立[J].中国实验动物学报,2006,14(3):217-221. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4847.2006.03.014.
ZHONG M T, HUANG M, LU J, et al. Establishment of a rapid hyperlipidemic gerbil model[J]. Acta Lab Anim Sci Sin, 2006, 14(3):217-221. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4847.2006.03.014.
- [2] 钟民涛,王迎,卢静,等.长爪沙鼠的高脂血症与动脉粥样硬化相关性分析[J].中国比较医学杂志,2006,16(6):321-324. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7856.2006.06.001.
ZHONG M T, WANG Y, LU J, et al. Analysis of correlation between hyperlipidemia and atherogenesis in the gerbil[J]. Chin J Comp Med, 2006, 16(6): 321-324. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7856.2006.06.001.
- [3] 李长龙,杜小燕,王冬平,等.长爪沙鼠脑缺血模型近交系的培育及其发病机制研究进展[J].中国实验动物学报,2018,26(4):512-517. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4847.2018.04.017.
LI C L, DU X Y, WANG D P, et al. Advances in research of the establishment of an inbred Mongolian gerbil model of cerebral ischemia and its mechanism of pathogenesis[J]. Acta Lab Anim Sci Sin, 2018, 26(4):512-517. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4847.2018.04.017.
- [4] 李巍,陈晓娟,张旭亮,等.长爪沙鼠非酒精性脂肪肝肝硬化模型的建立[J].中国老年学杂志,2019,39(13):3233-3238. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2019.13.048.
LI W, CHEN X J, ZHANG X L, et al. Establishment of a

- Mongolian gerbil model of nonalcoholic fatty liver disease cirrhosis[J]. Chin J Gerontol, 2019, 39(13):3233-3238. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2019.13.048.
- [5] 杜小燕, 李长龙, 王冬平, 等. 长爪沙鼠自发性糖尿病模型近交系培育及其生物学特性的研究进展[J]. 中国实验动物学报, 2018, 26(4):507-511. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4847.2018.04.016.
- DU X Y, LI C L, WANG D P, et al. Research progress in the establishment of a spontaneous diabetic inbred gerbil and its biological characteristics[J]. Acta Lab Anim Sci Sin, 2018, 26(4):507-511. DOI: 10.3969/j.issn.1005-4847.2018.04.016.
- [6] 李振宗, 赵晖, 曹琦, 等. ND3、NF- κ B在遗传性糖尿病长爪沙鼠肝脏、肾脏中的表达定位[J]. 实验动物科学, 2018, 35(6):1-6. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2018.06.001.
- LI Z Z, ZHAO H, CAO Q, et al. Localization of ND3 and NF- κ B on livers and kidneys from hereditary diabetic Mongolian gerbils[J]. Lab Anim Sci, 2018, 35(6):1-6. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2018.06.001.
- [7] 李胜利, 乔欣, 王钜. 海人酸致沙鼠癫痫模型初探[J]. 实验动物科学与管理, 2006, 23(4):16-17. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2006.04.006.
- LI S L, QIAO X, WANG J. The primary study on the establishment of a model of epilepsy induced by kainic acid in gerbils[J]. Lab Anim Sci Manag, 2006, 23(4):16-17. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2006.04.006.
- [8] 宋丹丹, 桂飞, 汪海燕, 等. 长爪沙鼠不同感官神经性耳聋模型的建立及比较[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2024, 42(1):70-75. DOI: 10.13880/j.cnki.65-1174/n.2023.22.043.
- SONG D D, GUI F, WANG H Y, et al. Establishment and comparison of sensorineural deafness models in Mongolian gerbils[J]. J Shihezi Univ Nat Sci, 2024, 42(1):70-75. DOI: 10.13880/j.cnki.65-1174/n.2023.22.043.
- [9] 叶瑞, 王莉君, 李先春, 等. 长爪沙鼠及其寄生虫感染模型组学研究进展[J]. 动物医学进展, 2023, 44(8):97-101. DOI: 10.16437/j.cnki.1007-5038.2023.08.014.
- YE R, WANG L J, LI X C, et al. Progress on omics of Mongolian gerbil and its parasite infection models[J]. Prog Vet Med, 2023, 44(8):97-101. DOI: 10.16437/j.cnki.1007-5038.2023.08.014.
- [10] 伍颖, 王诗媛, 胡彩姣, 等. Cystatin C 敲除诱导的长爪沙鼠抑郁模型[J]. 生物化学与生物物理进展, 2022, 49(5):907-916. DOI: 10.16476/j.pibb.2022.0115.
- WU Y, WANG S Y, HU C J, et al. Knockout of cystatin C induced depression model in gerbils[J]. Prog Biochem Biophys, 2022, 49(5):907-916. DOI: 10.16476/j.pibb.2022.0115.
- [11] 马兰芝, 李迎, 尚世臣, 等. CMU/1 和 CMU/2 近交系长爪沙鼠脏器系数的比较[J]. 实验动物科学, 2019, 36(4):60-62, 67. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2019.04.014.
- MA L Z, LI Y, SHANG S C, et al. Comparison of the viscera coefficient of CMU/1 and CMU/2 inbred strains of gerbil[J]. Lab Anim Sci, 2019, 36(4):60-62, 67. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2019.04.014.
- [12] 王钜, 卢静, 陈振文, 等. 清洁级长爪沙鼠主要器官重量的测定[J]. 中国比较医学杂志, 2004, 14(4):221-223. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7856.2004.04.007.
- WANG J, LU J, CHEN Z W, et al. Mensuration of main visceral weight in clean Mongolian gerbils[J]. Chin J Lab Anim Sci, 2004, 14(4):221-223. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7856.2004.04.007.
- [13] 卢领群, 郭红刚, 石巧娟, 等. 不同月龄长爪沙鼠的肾脏组织学特征[J]. 实验动物与比较医学, 2023, 43(1):61-66. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2022.130.
- LU L Q, GUO H G, SHI Q J, et al. Histological characteristics of the kidney in Mongolian gerbils of different ages[J]. Lab Anim Comp Med, 2023, 43(1):61-66. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2022.130.
- [14] PANNARALE G, CARBONE R, DEL MASTRO G, et al. The aging kidney: structural changes[J]. J Nephrol, 2010, 23(Suppl 15):S37-S40.
- [15] GOYAL V K, CHATTERJEE P C. Changes with age in mouse kidney[J]. Exp Gerontol, 1980, 15(3):151-160. DOI: 10.1016/0531-5565(80)90059-5.
- [16] 秦川, 谭毅. 医学实验动物学[M]. 3版. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 75.
- QIN C, TAN Y. Medical laboratory animal science [M]. 3rd. Beijing: People's Medical Publishing House, 2020: 75.
- [17] SENGUPTA P. The laboratory rat: relating its age with human's[J]. Int J Prev Med, 2013, 4(6):624-630.
- (收稿日期:2024-01-16 修回日期:2024-06-03)
(本文编辑:张俊彦,翟玉凤,丁宇菁,吴昊晟)
- [引用本文]**
李梦, 陈柏安, 卢静. 不同周龄段雄性长爪沙鼠肾小体的形态变化[J]. 实验动物与比较医学, 2024, 44(5): 487-494. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2024.011.
- LI M, CHEN B A, LU J. Morphological changes of renal corpuscles in male Mongolian gerbils at different ages[J]. Lab Anim Comp Med, 2024, 44(5): 487-494. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2024.011.