

利用局部垂直切片和转距测量法研究生精小管内支持细胞核的位置和体积*

杨正伟

(川北医学院形态定量研究室 南充 637007)

【摘要】 从(1)正常对照及经庚酸睾酮治疗了21周的成年白人,以及(2)正常对照及经GnRH拮抗剂治疗了16~25日的成年猕猴,获取25 μ m厚甲基丙烯酸树脂包埋的睾丸组织切片。首先用无偏体视学新工具—光学体视框,在生精小管壁的局部垂直切片均匀抽选支持细胞核(通过抽选其核仁),然后(1)直接测量从所抽核仁中心或细胞核外侧(基膜)端至生精小管基膜内侧缘之间的最短直线距离,(2)并利用无偏体视学新方法—垂直转距测量法测量所抽细胞核的体积。根据是否在生精周期上半部分(人的第I~II期,猴的第I~VI期)将支持细胞分成两个时相。结果显示,正常猴支持细胞核在上半生精周期离基膜的距离显著远于下半周期,这提示支持细胞核随大量生精细胞从基底向管腔的发生而移动。但在人未检出这种周期性改变,这可能与人生精细胞在管壁内的螺旋状(非节段性)分布有关。上半和下半生精周期相比,人或猴支持细胞核的平均体积都无显著差异,但用上述治疗显著抑制精子发生后支持细胞核的平均体积都显著缩小约22~34%。

关键词 人 猴 睾丸 生精小管 支持细胞 局部垂直切片 光学体视框 转距测量法 体视学

The use of local vertical sections and rotator in the evaluation of

Local vertical section and rotator measurement for evaluating the position and volume of Sertoli cell nuclei in seminiferous tubules

Yang Zhengwei

(Morphometric Research Laboratory, North Sichuan Medical College, Nanchong 637007)

Abstract 25 μ m-thick methacrylate embedded testicular sections were obtained from (1) control and testosterone enanthate-treated (for 21 weeks) men (Caucasian), and (2) control and GnRH antagonist-treated (for 16~25 days) adult monkeys (*Macaca fascicularis*). Sertoli cell nuclei were first uniformly sampled from local vertical sections of the seminiferous tubules by sampling their nucleoli using a contemporary unbiased stereological tool-the optical disector. then, (1) the distance from the center of the nucleolus and the nearest distance from the outermost end of the nucleus to the inner side of the basement membrane of the tubule were directly measured, and (2) the volume of each nucleus was measured with a contemporary unbiased size estimator—the vertical rotator. Sertoli cells were divided into two phases based on whether they were in the first half of the seminiferous cycle (stages I~II in men and stages I~VI in monkeys) or not. The results showed that Sertoli cell nuclei of normal monkeys were farther away from the basement membrane during the first half cycle than during

* 四川省教委课题基金资助

作者 杨正伟 2009-10-30日 注: (1) 该PDF文件最后1页是作者补充的图像质量较好的插图页。(2) 该PDF文稿上的更正根据的是论文原稿(提供给编辑部的Word文档),即这里更正的是编辑排版印刷问题(以下更正除外:第138页上补充的"人们",第140页上删除的"其中",第141上更正的"与"/"所测任一种距离"/";正常与睾酮治疗组相比",第142页上删除的"很").

the second half cycle, which suggested that the nuclei moved as a large number of germ cells developed from the base to the lumen of the tubules. However this cyclic change was not observed in normal men, which may be related to their helical (non-segmental) arrangement of the cellular associations. The mean volume of Sertoli cell nuclei as grouped in the first half cycle was not significantly different from that in the second half cycle in normal monkeys or men, however the mean volume was significantly decreased by 22~34% after spermatogenesis was markedly suppressed with drug treatment in either species.

Key words men monkey testis seminiferous tubule Sertoli cell local vertical section optical disctor rotator stereology

人们

支持细胞在精子发生过程中有重要作用。由于缺乏不同时期生精上皮内支持细胞核至生精小管基膜的距离的定量研究资料,还不清楚支持细胞核是否随着大量生精细胞向着生精小管腔的增殖释放而上下主动或被动地运动。对鼠类动物的研究表明,支持细胞核的形状随生精周期的变化而变化^[1],促性腺激素撤退后支持细胞核的体积变小^[2]。在人和猴类这方面的研究缺乏。该文利用新体视学方法研究正常和促性腺激素撤退状态下成年人和猴类生精上皮内支持细胞核与生精小管基膜之间的距离以及支持细胞核的平均体积,以探讨支持细胞核的周期性变化及其与精子发生功能之间的关系。

1 材料与方法

1.1 实验及组织切片

实验1: 31~47岁健康男性白人(澳大利亚)志愿者10人,5人作对照,5人接受庚酸睾酮治疗(每周200mg肌注)约21周。该实验是在澳大利亚完成的^[3]。

实验2: 正常成年雄性猕猴(Macaca fascicularis)9只,4只对照(对照组),5只接受GnRH(促性腺激素释放激素)拮抗剂(cetrorelix)治疗(d/kg体重450 μ g皮下注射)25d;治疗16d后摘除了一侧睾丸(治疗16d组),另一侧于治疗结束时摘除(治疗25d组)。该实验是在德国完成的^[4]。

组织块及切片: 从每例志愿者的一侧睾丸取一个活检组织块,然后再分成两块。从每只猴睾丸随机切取两个组织块。组织块经Bouin's液浸润固定,甲基丙烯酸树脂包埋;从每个包埋块切取一张25 μ m的切片,经PAS处理用苏木精染色。这些切片是笔者等在澳大利亚制作的,利用同样的这些切片的有关精子发生的研究(包括血清性腺激素变化等其它结果),已另文发表^[3-4]。

每天每公斤

1.2 测量方法

在显示器上观察切片组织图像。先用10 \times 低倍物镜观察,利用目镜内的测试框(面积0.16mm²)抽选^[5]有明显管腔的椭圆形(包括圆形)生精小管轮廓用于测试。移动并转动图像,使离视野中心较近的一侧生精小管壁以及椭圆轮廓的短轴位于视野中心,短轴朝上。最后用100 \times 油镜观察(最终放大倍数2727),沿椭圆轮廓的短轴叠加一长方形测试框,一边(宽40 μ m)与短轴垂直,另一边贯穿管壁,见图1、2。该测试框覆盖的管壁即测试区域,它相当于生精上皮的局部垂直切片^[6],即此处的生精上皮与生精小管基膜垂直,见图1。将生精上皮的整个生精周期分为精子释放前的上半期(人的I~II期,猴的I~VI期)以及精子释放后的下半期(人的III~VI期,猴的VII~XII期)^[3,7]。由于睾酮治疗21周(人)以及GnRH拮抗剂治疗25d(猴)后精子发生显著抑制^[3-4],生精周期的分期困难,因此对这两个治疗组未分期。

在厚切片内“断层扫描”观察睾丸组织光学切片,根据体视框抽样原理^[5],在测试框内的10 μ m厚的切片组织内的抽选支持细胞核的核仁,其所属细胞核即为要测量的细胞核,见图2。上下聚焦观察整个细胞核,测量各个细胞核的最外侧(生精小管基膜侧)端点至生精小管基膜的内侧缘的最短直线距离;聚焦在核仁最清晰的平面上,测量各个细胞核的核仁中心至生精小管基膜的内侧缘的直线距离,然后根据垂直转距测量法(vertical rotator)^[8-9]从核仁处测量各个细胞核的体积(图3)。从每张切片平均抽选并测量了20~25个细胞核。体积的测量和计算是用测试软件完成的。其具体步骤如下:

具体步骤: 用鼠标点击核仁中心点,显示器上就出现通过该点的垂直直线(与基膜垂直)。用鼠

(天)

其具体步骤如下:

标再分别点击细胞核最上方和最下方的端点，显示器上就出现三条水平方向的等距平行直线，相邻两条平行线的间距刚好为细胞核高度（H）的 1/3，细胞核上端点至最上一条平行线的最短直线距离随机确定于 0~H/3 之间（图 3）。再用鼠标点击这三

条平行线与细胞核周界之间形成的所有交叉点，按回车键即输出所测细胞核的体积，体积算法举例见图 3。

上述测量是笔者在澳大利亚完成的，所用仪器是具有体视学测试系统软件的图像分析仪^[3-4]。

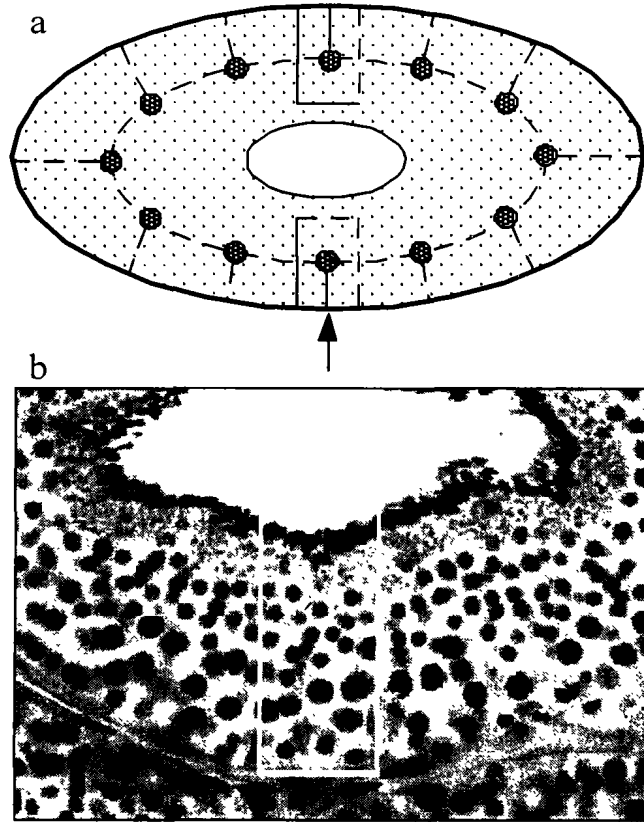


图 1 (a) 一空心圆柱体的斜切面示意图（切面与圆柱体纵轴之间的夹角为 45°），切面内沿一虚线椭圆排列的一列小圆形阴影轮廓示三维空间内距圆柱体表面相同距离的一层粒子，箭头所指切面周界处（上下两端点）在空间内垂直于圆柱体表面。(b) 正常成年猴椭圆形生精小管轮廓的一部分，沿其短轴叠加有一个测试框（短边长 40μm），该测试框所覆盖的管壁区域就相当于生精上皮的一个局部垂直切片，图 (a) 中箭头所指方向垂直于基膜，是该垂直切片的垂直轴。

Fig 1 (a) A schematic profile sectioned through a hollow cylinder at an angle of 45° with its longitudinal axis. A line of shaded small round profiles along a dotted ellipse represents a layer of particles with the same distance to the surface of the cylinder in 3D space. The arrow points at the point on the boundary of the profile, which is perpendicular to the surface of the cylinder. (b) Micrograph of part of an elliptic seminiferous tubule profile taken from a normal adult monkey. A rectangular frame with a width of 40μm is superimposed across the short axis of the profile. The area covered by the frame represents a local vertical section of the seminiferous epithelium. The direction of the arrow in the above picture is perpendicular to the basement membrane and indicates its vertical axis.

section

1.3 体视学理论基础

测量三维空间内支持细胞核至生精小管基膜的距离，尤如测量细胞核与基膜之间的一层“屏障”的厚度。只有在垂直于基膜的二维切片处测量的该

“屏障”的宽度才是该“屏障”的真实“厚度”。在随机方向（各向同性）的切片部位测量的该“屏障”的平均宽度，是该“屏障”的真实“厚度”的 $(4/\pi)$ 倍^[10]。

生精小管近似圆柱体，切片上贯穿生精小管腔的轮廓呈圆形或椭圆形。圆形轮廓周界上所有的点都垂直于圆柱体表面；椭圆形轮廓周界上有并且只有椭圆的短轴所对应的两个点才垂直于圆柱体表面。因此，贯穿生精小管腔的椭圆形轮廓上其短轴所在管区域就相当于以基膜为水平面的局部垂直切片^[6]，从该处抽选的支持细胞核至基膜的距离可

代表该细胞核在三维空间内至基膜的真实距离。正因为圆柱体的椭圆形截面的周界上只有跨过短轴的两个点才真正垂直于圆柱体表面（图1），从生精小管壁上实际采集的局部垂直切片应足够的窄。人和猴生精小管的直径分别平均为205和228 μm ^[3-4]，因此本研究采用的40 μm 宽的局部垂直切片比较合适，见图1、2。

壁

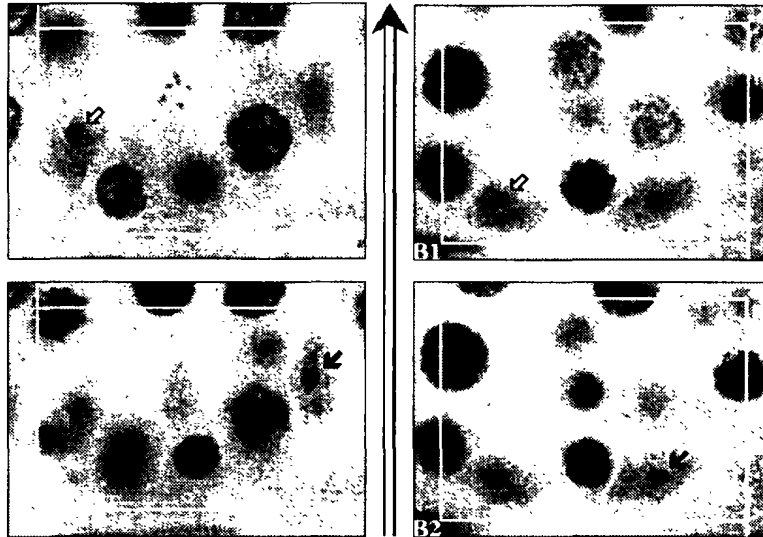


图2 摄自正常成年猴生精上皮局部垂直切片的两组显微照片。大箭头垂直于生精小管基膜，图像上叠加的测试框的真实宽度为40 μm 。左侧的A1和A2图（摄自上半生精周期），或者右侧的B1和B2图（摄片下半生精周期），是一厚切片内一视野的两个不同聚焦平面（光学切片），间距为4 μm 。出现在上一平面的核仁（ \checkmark ）不抽选，在两个平面之间的或者在下一平面上才聚焦的又位于测试框内的核仁（ \times ）被抽选。

Fig 2 Two pairs of micrographs taken from local vertical sections of the seminiferous epithelium in a normal adult monkey. The big arrow is perpendicular to the basement membrane of the tubules. The true width of each frame superimposed on the micrographs is 40 μm . Pictures A1 and A2 on the left (from the first half seminiferous cycle), or B1 and B2 on the right (from the second half cycle), are a pair of different focussing planes (optical sections) through the same field in a thick section, with a distance of 4 μm . Nucleoli (\checkmark) present on the top plane are not sampled but those which come in focus (\times) between two planes or on the next plane are sampled.

the

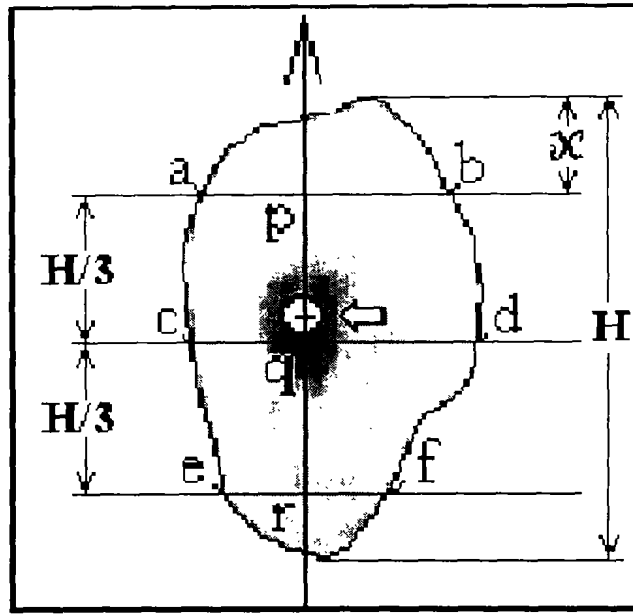
测量该距离还涉及抽选哪些支持细胞核来测量的问题。均匀（无偏）抽选粒子必需利用体视框，其中在厚切片内“断层扫描”观察并抽选粒子的光学体视框是更理想的新工具^[5]。成年动物的每个支持细胞核都有而且只有一个核仁，它既小又清晰（与细胞核相比），因此通过抽选其核仁来抽选细胞核比直接抽选细胞核更好。

无偏估计粒子体积的方法有卡瓦列里（Cavalieri's）原理、点取截距（point sampled intercept）及核距测量法（nucleator）等多种，但对于从局部垂直切片抽选的有且只有一个核仁的支持细胞核而言，垂直转距测量法（vertical rotator）更有效（误

差

着较小)^[8-9]。该研究采用的是生精小管的局部垂直切片，为了保证该切片“局部”在生精小管基膜这个“水平面”上方向的随机性（这是垂直切片的基本要求），严格地讲须利用各向同性的睾丸组织切片来抽选生精上皮的局部垂直切片^[6]。（由于支持细胞核距基膜的距离与局部垂直切片在基膜面上的方向无关，是否利用各向同性切片不影响该距离的测量。）本研究所用睾丸组织切片的方向实际上未知，加之已有的认识表明支持细胞核主要朝向生精小管腔分布（即在该方向表现出显著的各向异性特征），而在基膜面上的分布一般无显著方向性，因此这里可假设所用睾丸切片对支持细胞核体积估

计无显著影响。



11.5

图 3 一正常猴支持细胞核，箭头 \leftrightarrow 指向其核仁中心，箭头 \uparrow 的方向示垂直切片的垂直轴。细胞核的真实高度 (H) 为 11.5 μm 。x 是 0~H/3 之间的随机距离。p~r: 通过核仁中心的垂直线与三条平行线形成的交点; a~f: 三条平行线与细胞核周界之间的交点。据垂直转距测量法，该细胞核体积的无偏估计为:

$$\pi \times (H \div 6) \times [(Pa^2 + Pb^2) + (qc^2 + qd^2) + (re^2 + rf^2)] = 300\mu\text{m}^3$$

Fig 3 A normal monkey Sertoli cell nucleus is shown. Arrow \leftrightarrow indicates the center of the nucleolus; arrow \uparrow indicates the vertical axis of vertical sections. The true height of the nucleus (H) is 11.5 μm ; x is a random distance between 0 and H/3. p~r: intersections between the three parallel lines and the vertical line; a~f: intersections between the three parallel lines and the nuclear boundary. The unbiased estimate of the nuclear volume according to the vertical rotator is:

$$\pi \times (H \div 6) \times [(pa^2 + pb^2) + (qc^2 + qd^2) + (re^2 + rf^2)] = 300\mu\text{m}^3$$

1.4 统计

文内结果以平均值 \pm 标准误 (标准差除以样本含量的平方根) 表示。根据情况分别以配对 t 检验、学生 t 检验以及方差分析 (多重对比) 进行统计检验, 有无显著性差异以 $P=0.05$ 为界限。

2 结果

从支持细胞核外侧端以及从支持细胞核核仁中心分别至生精小管基膜内侧面的这两种距离的总的平均, 正常成人为 $10.6 \pm 0.4/15.4 \pm 0.5\mu\text{m}$, 正常成年猕猴为 $6.2 \pm 0.5/11.8 \pm 0.5\mu\text{m}$, 睾酮或 GnRH 拮抗剂治疗后均无显著改变 (表 1)。正常人上半及下半生精周期相比, 这两种距离之间均无显著差异, 睾酮治疗组也无显著差异。从每个正常猴睾丸上半生精周期测得的这两种距离都大于在下半周期测得的距离, GnRH 拮抗剂治疗 16d 组的结

果也如此。正常人上半周期与下半周期的支持细胞核外侧端至生精小管基膜内侧面的距离之比为 1.09 ± 0.09 ; 上半与下半周期的支持细胞核核仁至生精小管基膜内侧面的距离之比为 1.05 ± 0.06 。猴支持细胞核外侧端至生精小管基膜内侧面的距离, 上半周期与下半周期之比为: 正常对照组 2.49 ± 0.43 , 治疗 16d 组 1.87 ± 0.16 ; 猴支持细胞核核仁至生精小管基膜内侧面的距离, 上半周期与下半周期之比为: 正常对照组 1.55 ± 0.08 , 治疗 16d 组 1.35 ± 0.05 。

支持细胞核的平均体积, 在正常人和猕猴分别为 332 ± 25 、 $378 \pm 17\mu\text{m}^3$, 上半与下半生精周期相比都未检出显著性差异, 不过在人睾酮治疗 21 周组和猴 GnRH 拮抗剂治疗 25d 组该平均体积分别显著减少 22% 和 34% (表)。

与 ; 正常与睾酮治疗组相比

所测任一种距离

表 支持细胞核核仁或核外侧端至生精小管基膜的距离和核平均体积结果 (平均 ± 标准误)

Tab Distances from the nucleoli or the outermost ends of Sertoli cell nuclei to the basement membrane of seminiferous tubules and the mean nuclear volumes (mean ± SEM).

	核仁至基膜的距离 (μm)			细胞核至基膜的距离 (μm)			细胞核体积 (μm ³)		
	总平	上半周期	下半周期	总平	上半周期	下半周期	总平	上半周期	下半周期
TE-ctr	15.4±0.5	15.8±0.3	15.3±0.7	10.6±0.4	11.0±0.4	10.3±0.6	332±25 ^e	333±25	337±50
TE-21w	16.4±1.1	—	—	12.0±1.3	—	—	260±13 ^e	—	—
Gn-ctr	11.8±0.5	14.4±0.6 ^a	9.3±0.6 ^a	6.2±0.5	8.6±0.5 ^c	3.8±0.8 ^c	378±17 ^f	372±18	386±20
Gn-16d	12.6±0.9	14.5±1.2 ^b	10.7±0.8 ^b	7.2±0.9	9.3±1.2 ^d	5.1±0.8 ^d	351±22 ^g	342±24	351±22
Gn-25d	12.7±0.6	—	—	7.94±0.4	—	—	249±14 ^h	—	—

TE-ctr、TE-21w: 睾酮对照组及治疗 21 周组 (人);

Gn-ctr、Gn-16d、Gn-25d: GnRH 拮抗剂对照组及治疗 16、25d 组 (猴)。

上半周期: 生精周期的 I~II 期 (人) 或 I~VI 期 (猴);

下半周期: 生精周期的 III~VI 期 (人) 或 VII~XII 期 (猴)。

a-a、b-b、c-c、d-d: P<0.05 (配对 t 检验);

e-e: P<0.05 (学生 t 检验);

f-f、g-g: P<0.05 (基于单因素方差分析的多重对比)。

3 讨论

本文首次利用了多种体视学新技术——局部垂直切片、光学体视框和转距测量法, 来研究不同时期生精上皮内支持细胞核至生精小管壁(基膜)之间的距离及其平均体积, 为类似的研究提供了一个研究模式。

该研究仅把生精周期分成上半及下半期^[3,4], 因此所得结果未必能反映了各个时期的周期性变化。不过, 总的来讲, 上半期是大量晚期精子细胞形成并向生精小管腔面移动, 而且最终成熟并释放后入生精小管腔内的时期; 下半期是中期精子细胞形成, 晚期精子细胞释放后的生精细胞数较少的时期^[3,4]。这表明正常猴上半生精周期内支持细胞核至基膜的距离一致地显著高于下半期的, 提示支持细胞核随大量生精细胞向着生精小管腔的运动而移动, 而随晚期细胞的释放而“回缩”。GnRH 拮抗剂治疗 16d 后仍可见这一现象, 这与以前对精子发生的研究结果——精原细胞的增殖受到抑制但其它生精细胞的增殖仍在继续^[4]一致。人上半及下半生精周期支持细胞核至基膜的平均距离之间无显著性差异, 这可能与人生精细胞的非节段性(螺旋状)分布有关。利用相切片的以前的研究表明, 睾酮(人)或 GnRH 拮抗剂(猴)治疗后精子发生受到了显示抑制^[3-4], 但该研究显示支持细胞核至基

膜的总的平均距离与正常对照之间的无显著差异。这可能提示, 支持细胞核随精子发生的上下移动, 是一个被动过程, 不主动参与精子发生的功能活动。

对正常大鼠的仔细观察表明, 支持细胞核的形状随大量精子细胞核向生精小管腔的运动而向着管腔拉长, 而随着晚期精子细胞的释放而变扁^[1]。本研究未定量分析支持细胞核形状的变化, 但也注意到这种现象在人和猴总的来讲似乎也存在, 见图 2。该研究测得的从支持细胞核外侧端以及从支持细胞核核仁分别至生精小管基膜的两种距离的结果一致, 提示该核仁位于细胞核内的位置较固定, 变异不很大。的研究显示人和猴精子发生抑制后支持细胞核体积都显著减少, 这与对鼠类动物研究结果^[2]一致, 说明支持细胞核的大小可间接反映精子发生的功能状态, 精子发生的抑制可能伴有支持细胞活动的减弱。

参考文献

- [1] Leblond CP, Clermont Y. Definition of the stages of the cycle of the seminiferous epithelium in the rat. Ann NY Acad Sci, 1952, 55: 548.
- [2] McLachlan RI, Wreford NG, O'Donnell L, et al. The endocrine regulation of spermatogenesis: independent roles for testosterone and FSH. J Endocrinol, 1996,

著

该研究

- 148: 1.
- [3] Yang Zhengwei, Wreford NG, Royce P, et al. Stereological evaluation of human spermatogenesis after suppression by testosterone treatment: heterogeneous pattern of spermatogenic impairment. *J Clin Endocrinol Metab*, 1998, 83: 1284.
- [4] Yang Zhengwei, Wreford NG, Schlatt S, et al. Acute and specific impairment of spermatogonial development by GnRH antagonist - induced gonadotrophin withdrawal in the adult macaque (*Macaca fascicularis*). *J Reprod Fertil*, 1998, 112: 139.
- [5] 杨正伟. 生物体视学新工具——光学体视框. *中国体视学与图像分析*, 1998, 3 (1): 50.
- [6] Baddeley AJ, Gundersen HJG, Cruz-Orive LM. Estimation of surface area from vertical sections. *J Microsc*, 1986, 142: 259.
- [7] Yang Zhengwei, McLachlan RI, Bremner WJ, et al. Quantitative (stereological) study of the normal spermatogenesis in the adult monkey. *J Androl*, 1997, 18 (6): 681.
- [8] Cruz-Orive LM. Stereology: recent solutions to old problems and a glimpse into the future. *Acta Stereol*, 1987, 6/Suppl III: 3.
- [9] Jensen EB, Gundersen HJG. The rotator. *J Microsc*, 1993, 170: 35.
- [10] Weibel ER. *Stereological Methods*. Vol. 2: Theoretical Foundations. London: Academic Press, 1980. 243 - 249.

(上接第 136 页)

悬垂系数及变化率的悬垂形态特征指示测试。结果表明:该方法简便、快捷,由测试数据推导出的织物悬垂性的主因子模型及主因子多元回归方程得到了实时检测。

3 讨论

悬垂性是纺织面料造型的一个重要组成要素,悬垂性的优劣,关系到织物实际使用时能否形成优美的曲面造型和良好的贴身性。以往悬垂性的测试技术虽多,但测试条件复杂,计算难度较大,且多为静态悬垂性的测试,方便、客观、有效的动态悬垂性的测试技术较少。本文通过设计和研制了织物动态悬垂测试装置,应用体视学研究和计算机图像处理技术,提取有关悬垂性指标,从而实现悬垂面积的计量和悬垂系数的计算,为织物悬垂美感的评价提供了一种新的有效手段。

本文应用体视学与图像研究技术所确定的纺织面料悬垂性指标,能够比较客观的反映纺织面料悬垂特性,测试简便、快捷,基本可以实现实时检测,这在动态悬垂性测试方面表现的更为突出,大大提高了纺织面料悬垂性的检测效率,受到纺织专家的好评。

本文应用体视学与图像研究技术虽然初步实现

了纺织面料悬垂性指标的测试,但目前所选用的动态测试指标仍不能全面表达织物动态悬垂特性,如织物动态密度测定和动感度测定等等,有待于进一步研究^[6]。另外如滞后角与织物刚度的关系也有待做进一步的试验与推导。

参考文献

- [1] 姚穆主编,纺织材料学. 第二版,北京:纺织工业出版社,1988. 5.
- [2] Shen XA, Zhao L. Experiment research on fabric shear. *Living Environment Present and Future of Clothing Food and Accommodation Thesis For Exchange*, 1992, 4: 10.
- [3] Hearle JWS. Textile for composites—Virtual reality and fabric mechanics, Part I: The Simulation of drape. *Textile Horizons*, 1996, 4: 12.
- [4] 陈黎曦,曾秀茹,赵文贤. 关于织物悬垂性评价方法及其指标的研究. *西北纺织工业学院学报*, 1991, 17 (1): 15.
- [5] 申洪,沈忠英编著,实用生物体视学技术. 广州:中山大学出版社,1991. 8.
- [6] Carignan M, Yang Y, Magnenat-Thalmann N, et al. Dressing animated synthetic actors with complex deformation clothes. *Computer Graphics (Proc. Siggraph)*, 1992, 26 (2): 99.

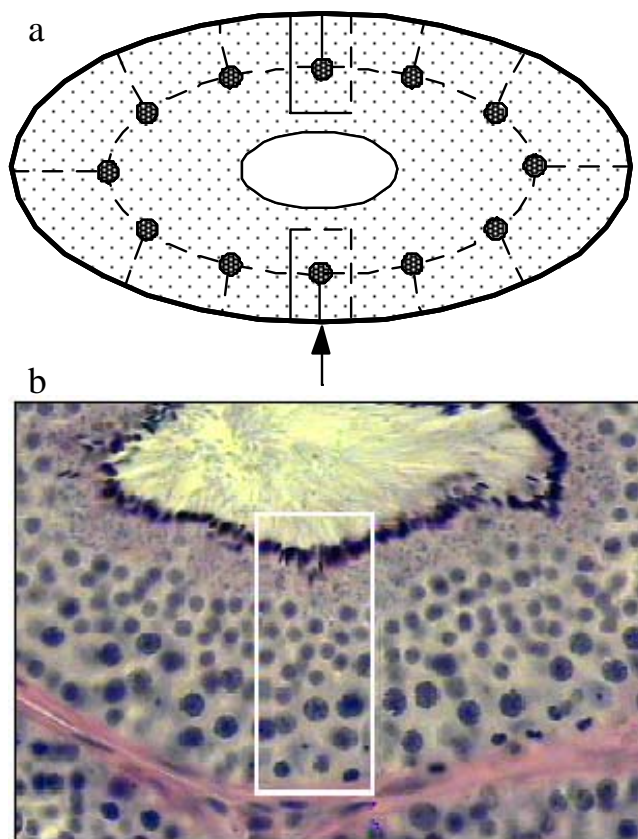


图1

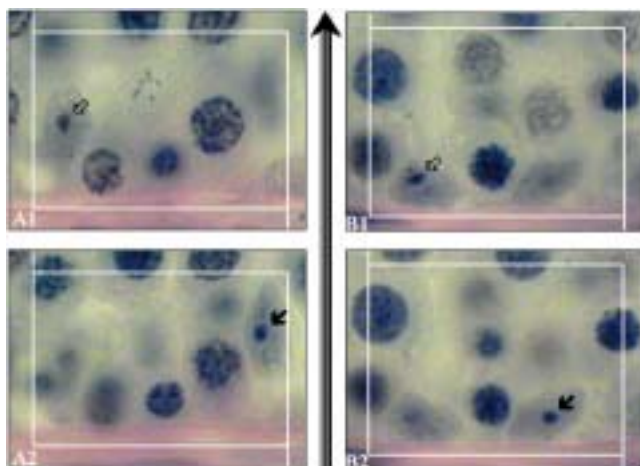


图2

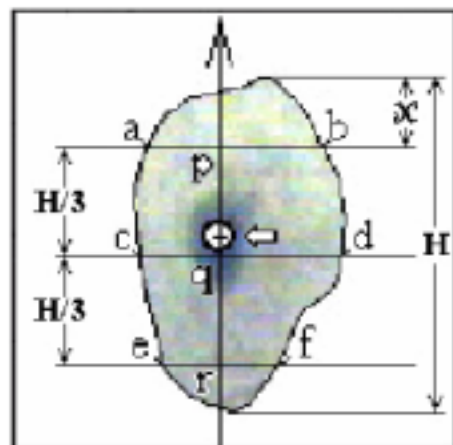


图3