

2061例不同民族不育男性精液质量与DFI比较分析

阎一鑫^{1*}, 宋 诚², 石拴霞², 秦红平¹, 郝 娜¹, 王 玲^{1,2#}

¹联勤保障部队第九四〇医院生殖医学中心, 甘肃 兰州

²甘肃中医药大学第一临床医学院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2024年2月19日; 录用日期: 2024年3月12日; 发布日期: 2024年3月20日

摘 要

目的: 分析2061例不同民族不育男性精液质量状况, 探讨不同民族间不育男性精液质量与精子DNA碎片指数(DFI)的相关性, 为保护不同民族不育男性生育力提供理论依据。方法: 回顾性分析2019年1月至2022年1月在我院生殖医学中心门诊就诊的2061例的少数民族不育男性患者精液标本, 采用计算机辅助精液质量分析技术、改良巴氏染色法、伊红苯胺黑法、精子染色质扩散法检测精液质量、精子存活率、精子形态正常率及精子碎片指数等参数, 比较了精液质量与DFI的相关性。结果: 2061例不同民族不育男性精液质量分析中正常精液903例(43.8%), 异常精液1158例(56.2%), 异常精液主要表现为精子活力低45.3% (933例), 而无精症8.9% (184例)高于周边地区。其中回族、东乡族患者与其他民族在前向运动(PR)精子活力、精子存活率、精子形态正常率均低于其他各组, 而东乡族精子DFI均高于其他各族, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。藏族患者排精量低于其他各组差异有统计学意义($P < 0.05$)。蒙古族形态正常率低于其他各组差异有统计学意义($P < 0.01$)。维吾尔族患者与其他民族在PR精子活力、精子浓度均高于其他各族, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。精子DFI与不育男性年龄($r = 0.164, P < 0.01$)、禁欲天数($r = 0.067, P < 0.05$)呈正相关性。而DFI与PR精子活力($r = -0.29$)、精子存活率($r = -0.066$)、精子形态正常率($r = -0.319$)均呈负相关性, 有统计学意义($P < 0.01$)。但DFI与精液体积($r = -0.007, P = 0.75$)、pH值($r = 0.015, P = 0.24$)、精子浓度($r = 0.028, P = 0.717$)无相关性($P > 0.05$)。结论: 本地区不同民族精液质量异常主要表现在精子活力低。而早检查、早预防、早治疗是少数民族不育男性生育力保护的关键。同时, 精子DFI作为精液质量评价的重要指标, 与年龄、禁欲天数、精子活力、精子存活率、精子形态正常率均有显著相关性。因此, 对不育男性精液质量常规检查与精子DFI结果的综合分析, 可能有助于准确评估男性生育能力, 对不育男性生育力保护有利。

关键词

少数民族, 不育男性, 精液质量, 精子DNA碎片指数

*第一作者。

#通讯作者。

Comparative Analysis of Semen Quality and DFI in 2061 Infertile Men of Different Nationalities

Yixin Yan^{1*}, Cheng Song², Shuanxia Shi², Hongping Qin¹, Na Hao¹, Ling Wang^{1,2#}

¹Reproductive Medicine Center, The 940th Hospital of Joint Logistic Support Force of Chinese People's Liberation Army, Lanzhou Gansu

²No.1 School of Clinical Medicine, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou Gansu

Received: Feb. 19th, 2024; accepted: Mar. 12th, 2024; published: Mar. 20th, 2024

Abstract

Objective: To analyze the semen quality of 2061 infertile men from different nationalities, and explore the correlation between semen quality and sperm DNA fragment index (DFI) of infertile men from different nationalities, so as to provide a theoretical basis for protecting the fertility of infertile men from different nationalities. **Methods:** The semen samples of 2061 infertile male patients from minority nationalities who visited our Reproductive Medical Center from January 2019 to January 2022 were analyzed retrospectively. The semen quality, sperm survival rate, normal rate of sperm morphology, sperm fragment index and other parameters were detected by computer aided semen quality analysis technology, modified Papanicolaou staining, eosin aniline black method, sperm chromatin diffusion method, and the correlation between semen quality and DFI was compared. **Results:** Among 2061 infertile men of different nationalities, 903 (43.8%) were normal semen and 1158 (56.2%) were abnormal semen. The abnormal semen mainly showed low sperm vitality of 45.3% (933 cases), while the azoospermia of 8.9% (184 cases) was higher than that of the surrounding areas. Among them, the sperm vitality, sperm survival rate and normal sperm morphology of Hui, Dongxiang and other nationalities in forward motion (PR) were lower than those of other groups, while the sperm DFI of Dongxiang was higher than that of other nationalities, with a statistically significant difference ($P < 0.01$). The seminal output of Tibetan patients was significantly lower than that of other groups ($P < 0.05$). The normal rate of Mongolian morphology was lower than that of other groups ($P < 0.01$). The sperm activity and sperm concentration in PR of Uygur patients and other nationalities were higher than those of other nationalities, and the difference was statistically significant ($P < 0.01$). Sperm DFI was positively correlated with age ($r = 0.164$, $P < 0.01$) and abstinence days ($r = 0.067$, $P < 0.05$) of infertile men. However, DFI was negatively correlated with PR sperm vitality ($r = -0.29$), sperm survival rate ($r = -0.066$) and sperm morphology normal rate ($r = -0.319$), with statistical significance ($P < 0.01$). However, there was no correlation between DFI and semen volume ($r = -0.007$, $P = 0.75$), pH ($r = 0.015$, $P = 0.24$), sperm concentration ($r = 0.028$, $P = 0.717$) ($P > 0.05$). **Conclusion:** The abnormal semen quality of different nationalities in this region is mainly manifested in the low sperm vitality. Early examination, early prevention and early treatment are the keys to protecting the fertility of ethnic infertile men. At the same time, as an important indicator of semen quality evaluation, sperm DFI is significantly related to age, days of abstinence, sperm vitality, sperm survival rate, and normal sperm morphology. Therefore, the comprehensive analysis of routine semen quality inspection and sperm DFI results of infertile men may be helpful to accurately evaluate male fertility and protect the fertility of infertile men.

Keywords

Ethnic Minorities, Infertile Men, Semen Quality, Sperm DNA Fragment Index



1. 引言

精子既是父代遗传信息的传承载体,也是精卵结合过程中重要的配子之一。精液质量关系到子代人口素质、生殖健康水平和种族的延续[1]。近年来我国部分地区男性精液质量呈下降趋势[2] [3] [4],但近期针对少数民族不育男性精液质量现状报道较少。笔者所在医院常年接诊来自甘肃省及周边地区(如宁夏、青海、新疆等少数民族聚居地区)不孕不育患者,为深入研究本地区少数民族不育男性精液质量基本现状与不育症发病机制提供了充足的资料样本,本文通过对来院就诊少数民族不育男性精液质量状况探讨分析,旨在为本地区少数民族不育男性生育力保护提供理论依据。

2. 资料与方法

2.1. 对象

回顾性分析 2019 年 1 月至 2022 年 1 月在我院生殖中心就诊不育患者 2061 例,年龄 18~60 岁,平均年龄(31.7 ± 5.9)岁。纳入标准:婚后未避孕未孕达 1 年以上,性生活正常,排除女方因素。依据不同民族、精液质量、精子 DNA 碎片指数(DFI)等因素分组比较,分为正常精液组(各项指标正常)与异常精液组(一项或多项指标异常),比较了禁欲天数、精液 pH 值、体积、前向运动(PR)精子占比、精子浓度、精子存活率、精子形态正常率、精 DFI 等参数。

2.2. 方法

根据《WHO 人类精液检查与处理实验室手册(第 5 版)》[5]标准,患者以手淫法留取精液立即送检,样本置于 37℃ 恒温恒湿箱内液化。待精液液化后混匀,试纸法测样本 pH 值;称量法测精液体积;采用计算机辅助精液质量分析(CASA,北京赛司)技术,检测精子活动力、精子浓度等参数;镜检为无精子样本均离心后,取沉淀物再次镜检,仍未见精子为无精子样本。采用改良巴氏染色法检测样本精子形态正常率。精子存活率使用伊红苯胺黑法进行涂片、镜检。而精子 DNA 碎片指数(DFI)采用精子染色质扩散(SCD)法检测。无精子样本不做精液质量分析、精子形态正常率、精子存活率、精子 DFI 等项目的检测。

2.3. 统计学分析

运用 SPSS19.0 统计软件分析数据,计量资料采用单因素方差分析,率的比较采用 χ^2 检验和 Pearson 相关性分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 不同民族不育男性精液质量占比情况

2061 例少数民族不育男性精液标本中,比较不同民族不育患者精液质量占比,分为正常精液 903 例(43.8%),异常精液 1158 例(56.2%)。其中汉族不育男性占 62%(1278 例),回族不育男性占 25.2%(520 例),其他民族不育患者占比均 $<5\%$ (见表 1),各民族占比差异有统计学意义($P < 0.01$)。

Table 1. The proportion of semen quality in infertile males from different ethnic groups [cases (%)]
表 1. 不同民族不育男性精液质量占比情况[例(%)]

民族	例(%)	正常精液	异常精液	χ^2	<i>P</i>
汉	1278 (62.0)	588 (46.0)	690 (54.0)	31.081	<0.01
回	520 (25.2)	186 (35.8)	334 (64.2)		
藏	74 (3.6)	34 (45.9)	40 (54.1)		
蒙	71 (3.4)	31 (43.7)	40 (56.3)		
东乡	62 (3.0)	22 (35.5)	40 (64.5)		
满	32 (1.6)	22 (68.8)	10 (31.3)		
维	24 (1.2)	20 (83.3)	4 (16.7)		
合计	2061	903 (43.8)	1158 (56.2)		

3.2. 不同民族不育男性精液质量结果比较

不同民族不育男性异常精液(一项或多项指标异常)主要表现为精子活力低 45.3%，精子浓度低 17.5%，排精量少 9.1%，精子无精症 8.9%，其他异常指标见表 2。其中 933 例精子活力低的患者中，各民族占比由高到低依次为汉族 26.5%，回族 13.3%，藏族 1.6%，蒙古族 1.5%，满族 0.5%，维族 0.2% (见表 2)。

Table 2. Abnormal semen of infertile men from different ethnic groups [cases (%)]
表 2. 不同民族不育男性异常精液情况[例(%)]

异常表现	标准	例(%)	汉	回	藏	蒙	东乡	满	维
精子活力低	PR < 32%或 PR + NP < 40%	933 (45.3)	547 (26.5)	274 (13.3)	32 (1.6)	30 (1.5)	36 (1.7)	10 (0.5)	4 (0.2)
精子浓度低	精子浓度 < 15 × 10 ⁶ /ml	360 (17.5)	200 (9.7)	112 (5.4)	8 (0.4)	16 (0.8)	20 (1.0)	4 (0.2)	0
排精量少	精液体积 < 1.5 ml	189 (9.1)	114 (5.5)	56 (2.7)	7 (0.4)	6 (0.3)	2 (0.1)	4 (0.2)	0
无精症	精子浓度为 0， 离心后仍未见精子	184 (8.9)	101 (4.9)	72 (3.5)	5 (0.2)	2 (0.1)	0	4 (0.2)	0
pH 异常	pH < 7.2 或 pH > 8.0	118 (6.2)	62 (3.5)	44 (2.1)	2 (0.1)	2 (0.1)	8 (0.4)	0	0
液化异常	>60 min 不液化	52 (2.5)	28 (1.4)	6 (0.3)	6 (0.3)	8 (0.4)	4 (0.2)	0	0

3.3. 不同民族不育男性精液质量比较

精液质量单因素方差分析显示，不同民族组间精液体积、前向运动(PR)精子活力、精子存活率、精子形态正常率、精子 DFI 等参数差异具有统计学意义($P < 0.01$)，但禁欲天数、精液 pH 值、精子浓度等指标组间无统计学意义($P > 0.05$) (见表 3)。其中回族、东乡族患者与其他民族在前向运动(PR)精子活力、精子存活率、精子形态正常率均低于其他各组，而东乡族精子 DFI 均高于其他各族，差异有统计学意义($P < 0.01$)。藏族患者排精量低于其他各组差异有统计学意义($P < 0.05$)。蒙古族形态正常率低于其他各组

差异有统计学意义($P < 0.01$)。维吾尔族患者与其他民族在 PR 精子活力、精子浓度均高于其他各族, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。其他各组间差异无统计学意义($P > 0.05$) (见表 3)。

Table 3. Semen routine quality results of 2061 infertile males from different ethnic groups ($\bar{X} \pm S$)

表 3. 不同民族不育男性 2061 例精液常规质量结果($\bar{X} \pm S$)

民族	例(%)	禁欲 (天)	体积 (天)	pH	PR 精子 (%)**	存活率 (%)**	浓度 (10 ⁶ /ml)*	形态正常率 (%)**	DFI (%)**
汉	1278 (62.0)	4.8 ± 4.6	3.1 ± 1.4	7.4 ± 0.1	34.8 ± 21.0	58.8 ± 22.0	50.3 ± 41.7	7.7 ± 4.6	16.2 ± 8.4
回	520 (25.2)	5.2 ± 4.4	3.1 ± 1.6	7.4 ± 0.1	28.3 ± 21.9	51.1 ± 25.3	44.8 ± 51.3	3.7 ± 2.7	19.2 ± 11.7
藏	74 (3.6)	4.8 ± 2.8	2.8 ± 1.1	7.4 ± 0.1	37.6 ± 24.6	56.3 ± 28.5	40.4 ± 4.7	5.5 ± 3.5	18.6 ± 11.3
蒙	71 (3.4)	5.1 ± 5.5	2.9 ± 1.2	7.4 ± 0.1	34.2 ± 18.2	59.3 ± 21.2	57.8 ± 68.1	3.5 ± 2.9	21.5 ± 10.2
东乡	62 (3.0)	5.2 ± 3.4	3.4 ± 1.1	7.3 ± 0.2	24.3 ± 18.1	52.5 ± 16.8	43.3 ± 39.8	3.8 ± 2.6	27.7 ± 8.0
满	32 (1.6)	4.9 ± 2.9	3.3 ± 1.3	7.4 ± 0.1	42.2 ± 17.0	63.6 ± 11.6	40.4 ± 4.7	5.0 ± 1.7	24.1 ± 9.5
维	24 (1.2)	4.7 ± 3.3	2.9 ± 0.9	7.4 ± 0.2	44.1 ± 12.7	58.0 ± 15.0	62.7 ± 24.8	6.8 ± 2.0	25.5 ± 7.6

注: *代表与正常组比较, $P < 0.05$; **代表与正常组比较, $P < 0.01$ 。

3.4. 716 例不同年龄少数民族不育男性精液质量组间比较

除无精子样本外, 1877 例不同民族不育男性精液按照不同的精子 DFI 分为 A 组(DFI ≤ 15%)、B 组(15% < DFI ≤ 30%)、C 组(DFI > 30%)。χ² 检验分析显示, 各组间差异均有统计学意义($P < 0.01$) (见表 4)。

Table 4. Comparison of results of different semen quality and sperm DNA fragment index in 1877 cases (except for Azoospermia) [cases (%)]

表 4. 1877 例(除无精症外)不同精液质量与精子 DNA 碎片指数结果比较[例(%)]

组别	例	A 组	B 组	C 组	χ ²	P
正常精液	903	528 (58.5)	365 (40.4)	10 (1.1)	553.942	<0.01
异常精液	974	115 (11.8)	595 (61.1)	264 (27.1)		
合计	1877	643 (34.4)	960 (51.1)	274 (14.6)		

3.5. 精子 DFI 与精液其他各参数间相关性分析

除无精子样本外, 1877 例不育男性精子 DNA 碎片指数与精液质量各参数间相关性分析, 结果提示精子 DFI 与不育男性年龄($r = 0.164$, $P < 0.01$)、禁欲天数($r = 0.067$, $P < 0.05$)呈正相关性。而 DFI 与 PR 精子活力($r = -0.29$)、精子存活率($r = -0.066$)、精子形态正常率($r = -0.319$)均呈负相关性, 有统计学意义($P < 0.01$)。但 DFI 与精液体积($r = -0.007$, $P = 0.75$)、pH 值($r = 0.015$, $P = 0.24$)、精子浓度($r = 0.028$, $P = 0.717$)无相关性($P > 0.05$) (见表 5)。

Table 5. Comparison of different semen quality and sperm DFI results in 1877 cases [cases (%)]

表 5. 1877 例不同精液质量与精子 DFI 结果比较[例(%)]

		年龄	禁欲	体积	pH	PR	存活	浓度	形态
DFI	r	0.125	0.067	0.007	0.015	-0.786	-0.661	0.028	-0.319
	P	<0.01	0.022	0.75	0.24	<0.01	0.003	0.717	<0.01

4. 结论

位于中国西北地区的甘肃省以高原环境为主, 位于黄土高原之上, 毗邻青藏高原和蒙古高原, 是全国主要少数民族聚居地区之一, 以回族、藏族、蒙古族、东乡族居多。而少数民族不育男性精液质量差异直接影响本地区人口生殖健康、种族延续及生育力保护等问题。掌握不同民族不育男性精液质量现状, 探究不育男性精液质量与精子 DFI 相关性, 有助于建立本地区少数民族不育男性生殖资源数据库, 为保护少数民族不育男性生育力, 提高少数民族人口质量具有十分重要的意义。

本研究将 2061 例不同民族不育男性精液标本纳入分析, 其中一项或多项异常精液 48.6%, 低于全国多中心调查研究的平均水平 57.7% [6]。其中异常精液占比由高到低依次为精子活力低(45.3%)、精子浓度低(17.5%)、排精量少(9.1%)、无精症(8.9%)、pH 异常(6.2%)、液化异常(2.5%), 提示本地区不同民族不育患者精液质量下降的主要原因为精子活力低, 与其它相关研究结果[7] [8] [9]相似。其中, 本地区汉族精子活力异常率(26.5%)高于回族(13.3%)、藏族(1.6%)、蒙古族(1.5%)等其他少数民族, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。提示本地区少数民族精液质量保持较好, 这可能与少数民族特有的饮食习惯、生活习俗等与汉族不同有关。尤其本地区大部分少数民族都拥有本民族宗教信仰(如回族、东乡族、维吾尔族信仰伊斯兰教, 藏族信仰藏传佛教), 特殊的宗教习俗如大多数穆斯林家庭禁止与非信仰伊斯兰教的民族间通婚, 因此逐渐形成了遗传学上相对的“隔离群体”。本研究中无精症患者 8.9%高于青海地区 5% [10]及新疆地区 2.73% [11], 其中汉族 4.9%、回族 3.5%, 藏族 0.2%, 满族 0.2%, 蒙古族 0.1%。尽管本研究中回族无精症患者占比相对较高, 但这可能与大多数回族、东乡族从事餐饮业行业相关, 尤其是厨房通风不畅、火炉高温等环境, 可能对男性睾丸生精过程与精子活力功能产生一定影响。

不同民族精液质量单因素方差分析显示, 不同民族组间的前向运动(PR)精子活力、精子存活率、精子浓度、精子形态正常率、精子 DFI 等参数差异具有统计学意义($P < 0.01$), 但禁欲天数、精液体积、精液 pH 值等指标组间无统计学意义($P > 0.05$)。其中回族、东乡族患者与其他民族在前向运动(PR)精子活力、精子存活率、精子形态正常率均低于其他各组, 而东乡族精子 DFI 均高于其他各族, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。Martini 等研究表明[12], 透气不良时易造成阴囊局部温度升高, 不利于蛋白酶发挥活性从而影响生精功能, 最终可能引发无精症。因此, 餐饮行业类人群应尽量避免接触高温, 预防无精症的发生。而藏族患者排精量低于其他各组差异有统计学意义($P < 0.05$)。其中部分少数民族生活的环境, 如低压低氧的高原地区、昼夜温差较大的草原地区, 也会影响精子活力[13]。本地区藏族多聚居于甘肃省西南部的甘南地区, 该地区处于青藏高原边缘, 独特的高原自然气候, 如昼夜温差大、寒冷、风大、干燥、日照时间长等对人体代谢与血液循环功能会产生一定影响[14] [15]。而高原低压低氧环境会对人体血液粘稠度、血液回流产生较大影响, 导致粘度升高, 血流阻滞, 影响生殖系统缺血, 从而使睾丸生精上皮细胞受损, 影响精子活力和排精量[16]。而蒙古族患者精子形态正常率均低于其他各组, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。本地区蒙古族多居住在人口密度较低的草原地区, 野外卫生条件较差, 长时间骑马放牧, 会阴部受到挤压, 导致血液循环受阻。且蒙古族男性普遍有饮酒, 食用自制的烟熏肉等习俗。上述因素可能与前向运动(PR)精子活力低、精子形态正常率低等精液质量下降有关[17]。维吾尔族患者与其他民族相比, 在前向运动(PR)精子活力、精子形态正常率差异有统计学意义($P < 0.05$)。该结果与全国第七次人口普查[18]数据相近, 维族人口较第六次人口普查增加 162.3 万人, 增长 16.2%。说明维族男性生育力保持良好, 其精液质量甚至优于本地区其他民族。

除无精子样本外, 不同精子 DFI 组间 χ^2 检验分析显示, 各组间差异均有统计学意义($P < 0.01$)。其中 C 组正常精液中仍有 1.1%的患者 DFI $> 30\%$, 提示精子 DFI 检测技术较精液常规检查, 从精子 DNA 损伤角度能尽早发现精液质量问题, 为临床精液质量评估与辅助生殖中受精率预判提供参考。而 A 组异常

精液中仍有 11.8% 的患者 $DFI \leq 15\%$, 提示异常精液不全是精子 DNA 损伤导致的, 仍需将精液常规检查与精子 DFI 技术联合使用, 对全面评估精液质量更有临床价值。而在 DFI 与精液质量各参数间相关性分析中, 结果提示精子 DFI 与不育男性年龄($r = 0.164, P < 0.01$)、禁欲天数($r = 0.067, P < 0.05$)呈正相关性。提示本地区不育男性会随着年龄增长、禁欲天数延长而 DNA 损伤逐渐升高, 这与 Stahl [19] 等研究结果相近。因此, 早检查、早预防、早治疗是少数民族不育男性生育力保护的关键。精子的 DNA 完整性在形成优质胚胎、增加受精率、胚胎发育以及最终着床潜力方面发挥着重要作用。而左旋肉碱(LC)等抗氧化剂对脂肪酸的正常线粒体氧化作用, 对精子细胞膜和 DNA 免受氧自由基的损伤起到保护作用。LC 和乙酰-L-肉碱(ALC)在精子性腺后成熟中发挥重要作用[20], 其作用机制值得研究。而 DFI 与 PR 精子活力($r = -0.29$)、精子存活率($r = -0.066$)、精子形态正常率($r = -0.319$)均呈负相关性, 有统计学意义($P < 0.01$)。精子活力、精子存活率、精子形态正常率都是精子膜完整性、精子结构比例的反映, 尤其在低渗条件下精子膜完整性决定了精子对染料的排斥或渗透调节能力, 进而影响了精子 DNA 损伤程度[21]。因此, 良好的生活作息是保证男性生殖健康的关键因素。

综上所述, 本地区不同民族精液质量异常主要表现在精子活力低。而早检查、早预防、早治疗是少数民族不育男性生育力保护的关键。同时, 精子 DFI 作为精液质量评价的重要指标, 与年龄、禁欲天数、精子活力、精子存活率、精子形态正常率均有显著相关性。因此, 对不育男性精液质量常规检查与精子 DFI 结果的综合分析, 可能有助于准确评估男性生育能力, 对不育男性生育力保护有利。

基金项目

本文由甘肃省青年科技基金计划(项目编号: 21JR1RA188)资助。

参考文献

- [1] 朱燕. 影响人口与计划生育统计的因素及其解决策略[J]. 财富时代, 2023(1): 168-169.
- [2] 杨静薇, 黄学锋, 王增军, 等. CSRM 数据报告: 2008~2018 年中国健康男性精液质量变化分析[J]. 生殖医学杂志, 2020, 29(1): 1-6.
- [3] Hu, L., et al. (2023) Risk Factors Associated with Sperm Quality Decline in Male Adults in the Southeast Coast of China. *Asian Journal of Andrology*, **23**, 764-771.
- [4] Wang, L., et al. (2022) The Impact of Environmental Pollutants on Sperm Quality in Chinese Males: A Longitudinal Study. *Environmental Science & Technology*, **56**, 11865-11875.
- [5] 世界卫生组织. 人类精液检查与处理实验室手册[M]. 第 5 版. 谷翊群, 陈振文, 卢文红, 等, 译. 北京: 科学出版社, 2011: 115-119.
- [6] 刘巧斌, 程玲, 叶圆圆, 等. 男性不育患者精液质量及其影响因素分析[J]. 吉林大学学报(医学版), 2022, 48(2): 470-477.
- [7] 刘琳, 李发敏子, 张瑞, 等. 甘肃地区 1705 例不育门诊男性患者精液质量及影响因素分析[J]. 中国男科学杂志, 2019, 33(6): 17-22.
- [8] 马宝良, 高轲, 陈思, 等. 甘肃地区 6325 例不育男性精液分析[J]. 中国男科学杂志, 2019, 33(1): 37-39.
- [9] 阎一鑫, 郝娜, 张文华, 等. 兰州地区 4537 例不育男性患者精液质量分析[J]. 中国生育健康杂志, 2017, 28(2): 174-177.
- [10] 张树娜, 李燕子, 卿芳, 等. 西宁地区 1260 例男性不育门诊就诊患者精液质量与精子形态学分析[J]. 青海医药杂志, 2018, 48(6): 12-14.
- [11] 王军, 吕红蕾, 黄海鹭. 新疆地区 1500 例男性不育症精液筛检结果分析[J]. 中国实验诊断学, 2012, 16(5): 878-880.
- [12] Jiang, X., Li, X., Feng, W., Qin, Y., Li, Z., Nie, H., Qin, W., Han, L. and Bai, W. (2021) Baking of Methionine-Choline Deficient Diet Aggravates Testis Injury in Mice. *Food and Chemical Toxicology*, **154**, Article 112245. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112245>

- [13] 马刚, 张凯, 常德辉, 等. 高原环境因素致男性生殖系统氧化应激损伤的机制研究进展[J]. 山东医药, 2022, 62(8): 108-111.
- [14] Liu, X., Liu, S., Xu, C., *et al.* (2020) Effects of Leptin on HPG Axis and Reproductive Function in Male Rat in Simulated Altitude of 5500m Hypoxia Environment. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **529**, 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.05.194>
- [15] 邓琛耀, 刘娜娜, 范媛媛, 等. 高原低氧环境对男性精液质量影响及其机制的研究进展[J]. 中国男科学杂志, 2020, 34(3): 72-75.
- [16] Wang, X., Pan, L., Zou, Z., *et al.* (2017) Hypoxia Reduces Testosterone Synthesis in Mouse Leydig Cells by Inhibiting NRF1-Activated StAR Expression. *Oncotarget*, **8**, 16401-16413. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.14842>
- [17] 张保平, 尚锦清, 杨淑君. 内蒙古地区汉族和蒙古族人群精液分析[J]. 中华男科学, 2003, 9(2): 153-154.
- [18] 新疆维吾尔自治区第七次全国人口普查领导小组办公室. 2021 年新疆维吾尔自治区第七次全国人口普查公报(第一号)[R]. 新疆: 新疆维吾尔自治区统计局. 2021.
- [19] Kuroda, S., Takeshima, T., Takeshima, K., *et al.* (2020) Early and Late Paternal Effects of Reactive Oxygen Species in Semen on Embryo Development after Intracytoplasmic Sperm Injection. *Systems Biology in Reproductive Medicine*, **66**, 122-128. <https://doi.org/10.1080/19396368.2020.1720865>
- [20] Micic, S., Lalic, N., Bojanic, N., *et al.* (2017) DBPC Study Showed Significant Correlation of DNA Fragmentation Index (DFI) and Seminal Carnitine with Progressive Sperm Motility in Oligospermic Men Treated with Metabolic And Essential Nutrients. *Fertility and Sterility*, **108**, E307-E308. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2017.07.909>
- [21] Nasiri, A., Vaisi-Raygani, A., Rahimi, Z., *et al.* (2021) Evaluation of the Relationship among the Levels of SIRT1 and SIRT3 with Oxidative Stress and DNA Fragmentation in Asthenozoospermic Men. *International Journal of Fertility & Sterility*, **15**, 135-140.