# 精子 DNA 碎片率与其他精液参数的相关性分析*

苗德雨[1,2]，王祖龙[1]，王晨[3]

1. 河南中医药大学第一附属医院男科，河南 郑州 450000；2. 河南中医药大学第一临床医学院，河南 郑州 450000；
3. 开封市中医院，河南 开封 475000

**摘要**：目的：分析精子 DNA 碎片率与其他精液检查参数的相关性。方法：收集 2024 年 2 月至 2024 年 7 月就诊于河南中医药大学第一附属医院男科行精子 DNA 碎片率检测的患者临床相关资料及精液相关检查结果，回顾性分析精子 DNA 碎片率与其他数据的相关性。结果：共收集到患者信息 390 例，精子 DNA 碎片率数据 390 例、年龄数据 390 例、精液体积数据 387 例、精液 pH 数据 390 例、精液液化情况数据 390 例、精子浓度数据 390 例、精子前向运动百分率数据 390 例、精子非前向运动百分率数据 388 例、精子不动百分率数据 388 例、正常精子百分率数据 374 例、顶体酶活性数据 182 例、抗精子膜抗体数据 268 例；其中年龄与精子 DNA 碎片率呈正相关（$P=0.001$，$r=0.173$）、精液体积与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.490$，$r=0.035$）、精液 pH 与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.623$，$r=-0.250$）、精液液化情况与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.426$，$r=-0.040$）、精子浓度与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.347$，$r=-0.480$）、精子前向运动百分率与精子 DNA 碎片率呈中度负相关（$P<0.001$，$r=-0.489$）、精子非前向运动百分率与精子 DNA 碎片率呈低度负相关（$P<0.001$，$r=-0.301$）、精子不动百分率与精子 DNA 碎片率呈中度正相关（$P<0.001$，$r=0.510$）、正常精子百分率与精子 DNA 碎片率呈低度负相关（$P<0.001$，$r=-0.350$）、顶体酶活性与精子 DNA 碎片率呈低度负相关（$P<0.001$，$r=-0.337$）、抗精子膜抗体与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.792$，$r=0.016$）。结论：在诊疗精子前向运动百分率较低而精子不动百分率较高、正常精子比例较低的高龄不育患者时，建议将精子 DNA 碎片率检测纳入常规筛查。在精子 DNA 碎片率过高的不育患者诊疗过程中，可以参考精子前向运动百分率、精子非前向运动百分率、精子不动百分率和正常精子百分率推测精子 DNA 碎片率的变化趋势，减少精子 DNA 碎片率的检测频率，从而减少患者医疗费用。在诊疗精子 DNA 碎片率升高的不育患者过程中，应详细采集患者个人信息，尤其着重了解其工作性质与工作环境、生活环境、饮食与作息习惯、个人嗜好等信息，以进一步深化对精子 DNA 损伤的研究。

**关键词**：精子 DNA 碎片率；DNA 碎片指数；男性不育症；顶体酶活性；抗精子膜抗体；精子运动
**DOI**：10.16368/j.issn.1674－8999.2025.05.147
**中图分类号**：R277.598.2　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674－8999(2025)05－0919－05

# Correlation Analysis of Sperm DNA Fragmentation Rate with Other Semen Parameters

MIAO Deyu[1,2]，WANG Zulong[1]，WANG Chen[3]

1. Department of Andrology，the First Affiliated Hospital to Henan University of Chinese Medicine，Zhengzhou Henan China 450000；
2. The First Clinical Medical School of Henan University of Chinese Medicine，Zhengzhou Henan China 450000；
3. Kaifeng Hospital of Traditional Chinese Medicine，Kaifeng Henan China 475000

**Abstract**：Objective：to analyze the correlation between sperm DNA fragmentation rate and other semen examination parameters. Methods：Clinical data and semen－related examination results of patients who attended the Department of Men′s Medicine of the First Affili-

* **基金项目**：国家自然科学基金项目（82174377）；开封市级科技研发计划联合基金项目（2307006）

ated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine for sperm DNA fragmentation rate testing from February 2024 to July 2024 were collected, and the correlation between sperm DNA fragmentation rate and other data was analyzed retrospectively. Results: A total of 390 cases of patients were collected, 390 cases of sperm DNA fragmentation rate, 390 cases of age, 387 cases of semen volume, 390 cases of semen pH, 390 cases of semen liquefaction, 390 cases of sperm concentration, 390 cases of sperm forward motility, 390 cases of sperm non - forward motility, 388 cases of sperm non - forward motility percentage data, 388 cases of sperm immobility percentage data, 374 cases of normal sperm percentage data, 182 cases of acrosomal enzyme activity data, and 268 cases of anti - sperm membrane antibody data; among them, age showed a weak positive correlation with sperm DNA fragmentation rate ($P = 0.001$, $r = 0.173$), there was no significant linear correlation between semen volume and sperm DNA fragmentation rate ($P = 0.490$, $r = 0.035$), and there was no significant linear correlation between semen pH and sperm DNA fragmentation rate. fragmentation rate ($P = 0.623$, $r = -0.250$), semen liquefaction and sperm DNA fragmentation rate ($P = 0.426$, $r = -0.040$), sperm concentration and sperm DNA fragmentation rate ($P = 0.347$, $r = -0.480$), and sperm forward motility percentage showed a moderate negative correlation with sperm DNA fragmentation rate ($P < 0.001$, $r = -0.489$), low negative correlation between sperm non - forward motility percentage and sperm DNA fragmentation rate ($P < 0.001$, $r = -0.301$), moderate positive correlation between sperm immobility percentage and sperm DNA fragmentation rate ($P < 0.001$, $r = 0.510$), and low negative correlation between normal sperm percentage and sperm DNA fragmentation rate ($P < 0.001$, $r = -0.350$), acrosomal enzyme activity showed a low negative correlation with sperm DNA fragmentation rate ($P < 0.001$, $r = -0.337$), and there was no significant linear correlation between anti - spermatozoa membrane antibody and sperm DNA fragmentation rate ($P = 0.792$, $r = 0.016$). Conclusion: It is recommended that sperm DNA fragmentation rate testing be included in routine screening when treating elderly infertile patients with low forward sperm motility percentage and high sperm immobility percentage and low percentage of normal sperm. In the process of treating infertility patients with high sperm DNA fragmentation rate, the trend of sperm DNA fragmentation rate can be inferred by referring to sperm forward motility percentage, sperm non - forward motility percentage, sperm immobility percentage, and normal sperm percentage, to reduce the frequency of sperm DNA fragmentation rate testing, thus reducing the patient's medical cost. In the process of treating infertile patients with elevated sperm DNA fragmentation rate, detailed personal information should be collected from the patients, especially focusing on the nature of their work, working environment, living environment, dietary and work habits, personal hobbies and other information, in order to further deepen the research on sperm DNA damage.

**Key words**: sperm DNA fragmentation rate; DNA fragmentation index; male infertility; acrosomal enzyme activity; anti - sperm membrane antibody; sperm motility

不育症是一个世界性的医学问题，据世界卫生组织统计，全世界范围内约有 15% 的夫妇被不育症所困扰，其中由男性不育所致不孕约占 50%[1]。男性不育症相关的病因众多。临床主要依靠精液常规参数评估男性生育力，可以大致反映精子质量，但是精液常规参数容易受各种因素的干扰，并不能很好地预测精子受精能力和妊娠结局，部分不育患者的精液常规检查不能很好地解释其不育原因。近年来，随着人类对精子功能与机制认识的深入，精子质量评价已经从细胞到分子层面。其中精子 DNA 完整性对男性生殖能力的影响受到了高度重视。精子 DNA 损伤指的是精子核 DNA 的完整结构发生变化，完整性受到损伤。临床检查中以精子 DNA 碎片指数（DNA fragmentation index，DFI）反映精子 DNA 损伤程度，其意义是发生精子核 DNA 链断裂的精子占全部精子的百分比[2]。目前，有关精子 DNA 损伤的研究尚不完善，尚未明确其发生机制，亦无统一的诊疗标准。DFI 的检测较为昂贵，患者接受度不高，难以开展常规检测。本文收集了行 DFI 检测患者的相关数据，并将其逐一与 DFI 进行相关性分析，以期能从患者其他资料预测 DFI，为精子 DNA 的临床诊疗提供参考，减少患者在诊疗过程中的医疗费用，提高依从性。

## 1　资料与方法

**1.1　一般资料**　选择 2024 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 31 日就诊于河南中医药大学第一附属医院男科，曾以精子染色质结构分析法（sperm chromatin structure assay，SCSA）[3-8] 行 DFI 检测的患者，提取其 DFI、精液体积、精液 pH、精液液化情况、精子浓度、精子前向运动（progressive，PR）百分率、精子非前向运动（non - progressive，NP）百分率、精子不动（immotility，IM）百分率、正常精子百分率、顶体酶活性、抗精子膜抗体数据等基本信息。本研究由河南中医

药大学第一附属医院伦理委员会审核批准，伦理批号：2023HL－249－01。

**1.2　病例纳入标准（自拟）**　（1）有生育需求，能配合后续治疗及复查的患者；（2）有固定性伴侣，无不良嗜好；（3）体外生殖器未见明显异常。

**1.3　病例排除标准（自拟）**　（1）基因、染色体异常者；（2）患者生育相关检测数据来源于非三级甲等医院者；（3）患者 DFI 检测方法非 SCSA 法或检测方法不明者。

**1.4　统计学方法**　采用 SPSS 26.0 统计学软件，针对连续性变量之间的相关性检验，符合正态性分布的数据采用 *Pearson* 检验，不全符合正态性分布的数据采用 *Spearman* 检验。针对二分类变量与连续性变量之间的相关性检验，采用 *Spearman* 检验。相关性检验的相关系数 $|r|=1$ 时，判定为完全相关；$1>|r|\geq 0.7$ 时，判定为高度相关；$0.7>|r|\geq 0.4$，判定为中度相关；$0.4>|r|\geq 0.2$，判定为低度相关；$0.2>|r|>0$，判定为微弱相关；$|r|=0$ 时，判定为无线性相关关系；$r$ 为正值时，判定为正相关；$r$ 为负值时，判定为负相关；显著性检验水准采用 $\alpha=0.05$。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2　结果

**2.1　连续性变量采集情况**　收集到精子 DNA 碎片率数据 390 例、年龄数据 390 例、精液体积数据 387 例、精液 pH 数据 390 例、精子浓度数据 390 例、PR 百分率数据 390 例、NP 百分率数据 388 例、IM 百分率数据 388 例、正常精子百分率数据 374 例、顶体酶活性数据 182 例，见表 1。

**表 1　连续性变量数据特征**

| 数据特征 | 年龄/岁 | DFI/% | 精液体积（$V$/mL） | pH | 精子浓度/$\times 10^6$ mL$^{-1}$ | PR/% | NP/% | IM/% | 正常精子百分率/% | 顶体酶活性/U·L$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 例数/例 | 390 | 390 | 387 | 390 | 390 | 390 | 388 | 388 | 374 | 182 |
| 最大值 | 49 | 93.37 | 10.0 | 8.0 | 394.3 | 80.92 | 57 | 100.00 | 10.1 | 721.659 |
| 最小值 | 22 | 2.41 | 0.6 | 6.7 | 0.4 | 0 | 0 | 7.77 | 0 | 3.436 |
| $Q_{25}$ | 30 | 17.898 | 2.7 | 7.2 | 24.54 | 21.098 | 7.103 | 38.355 | 3.000 | 43.131 |
| $Q_{50}$ | 33 | 27.410 | 3.5 | 7.2 | 45.38 | 33.420 | 9.855 | 55.155 | 3.000 | 67.487 |
| $Q_{75}$ | 35 | 40.043 | 4.4 | 7.4 | 76.07 | 46.898 | 13.000 | 69.480 | 4.000 | 95.525 |
| $\bar{x}$ | 32.733 | 30.617 | 3.658 | 7.265 | 63.828 | 34.535 | 10.674 | 54.580 | 3.463 | 76.367 |
| $s$ | 4.863 | 17.340 | 1.463 | 0.135 | 62.001 | 17.966 | 6.556 | 21.041 | 1.173 | 62.451 |

**2.2　二分类变量采集情况**　精液液化情况数据 390 例，其中精液液化正常 247 例，精液 60 min 不完全液化 143 例；抗精子膜抗体数据 268 例，抗精子膜抗体阳性 1 例，抗精子膜抗体阴性 267 例。

**2.3　正态性检验结果**　各样本量均大于 50 例，连续性变量选用 *Kolmogorov－Smirnov test* 法检验，经检验，年龄、精液体积、精液 pH、精子浓度、PR 百分率、NP 百分率、IM 百分率、正常精子百分率、顶体酶活性均不符合正态性分布，见表 2。

**表 2　连续性变量正态性检验**

| 统计值 | 年龄 | 精液体积 | pH | 精子浓度 | PR | NP | IM | 正常精子比率 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P$ 值 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.001 | <0.001 | 0.007 | <0.001 |
| $t$ 值 | 0.977 | 0.934 | 0.703 | 0.776 | 0.986 | 0.821 | 0.990 | 0.836 |

**2.4　相关性检验结果**　年龄与精子 DNA 碎片率呈微弱正相关（$P=0.001$，$r=0.173$）、精液体积与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.490$，$r=0.035$）、精液 pH 与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.623$，$r=-0.250$）、精液液化情况与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.426$，$r=-0.040$）、精子浓度与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.347$，$r=-0.480$）、PR 百分率与精子 DNA 碎片率呈中度负相关（$P<0.001$，$r=-0.489$）、NP 精子百分率与精子 DNA 碎片率呈低度负相关（$P<0.001$，$r=-0.301$）、IM 百分率与精子 DNA 碎片率呈中度正相关（$P<0.001$，

$r=0.510$）、正常精子百分率与精子 DNA 碎片率呈低度负相关（$P<0.001$，$r=-0.350$）、顶体酶活性与精子 DNA 碎片率呈低度负相关（$P<0.001$，$r=-0.337$）、抗精子膜抗体与精子 DNA 碎片率无明显线性关系（$P=0.792$，$r=0.016$），见表 3。

**表 3　各精液参数与 DFI 的相关性分析**

| 统计值 | 年龄 | 精液体积 | pH | 精子浓度 | PR | NP | IM | 正常精子比率 | 顶体酶活性 | 精液液化情况 | 抗精子膜抗体 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *P* 值 | 0.001 | 0.490 | 0.623 | 0.347 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.426 | 0.792 |
| *r* 值 | 0.173 | 0.035 | −0.250 | −0.480 | −0.489 | −0.301 | 0.510 | −0.350 | −0.337 | −0.040 | 0.016 |

## 3　讨论

目前，临床关于精子 DNA 损伤的研究不够深入，诊疗体系也不甚完善。有研究认为，患者出现精索静脉曲张、不明原因不育、宫腔内人工授精失败、反复流产、试管婴儿失败或具有吸烟、肥胖等危险因素的患者可进行 DFI 检测[9]。DFI 检测有多种方法，主要包括末端脱氧核苷酸转移酶介导的 dUTP 口末端标记法、彗星实验法、精子染色质扩散法与 SCSA 法等[3-8]。其中 SCSA 法的检测结果最为客观、准确、稳定，但其检测设备与耗材价格也相对高昂，故临床实际中 DFI 检测的花费较高，患者接受度较低，难以作为常规检查手段开展。

本文发现，年龄与精子 DNA 碎片率呈微弱正相关，这与既往研究相符[10-12]。故在 DFI 的筛查过程中，年龄是一个需要考虑的因素，但其相关性较为微弱，可能是前来检查的患者均为适龄有生育需求的患者，缺乏低龄及高龄个体数据。精液体积与精子 DNA 碎片率无明显线性关系，但在精液标本的采集过程中，多为患者自行手淫采集，存在标本体积损失情况，且不同个体采集标本时禁欲时间不同，而目前尚无精液体积与禁欲时间的换算方法，因此还不能定论精液体积与精子 DNA 碎片率间是否有相关性。PR 百分率与精子 DNA 碎片率呈中度负相关；NP 百分率与精子 DNA 碎片率呈低度负相关；IM 百分率与精子 DNA 碎片率呈中度正相关；正常精子百分率与精子 DNA 碎片率呈低度负相关。有研究显示，精子畸形率会影响精子活力[13]。这 4 项分析结果在方向性上一致，故可通过精子活力与畸形率预测 DFI，通过精子活力与畸形率的变化趋势预测 DFI 变化趋势，减少 DFI 的检测次数，减少患者医疗费用。精子的畸形部位对精子活力的影响存在一定差异[13]，但所收集的数据缺乏对精子畸形部位进行细分的部分，故此方面研究暂时缺漏，未来计划针对此情况予以改进，进行更为详尽的分析。精子浓度与精子 DNA 碎片率无明显线性关系，故精子 DNA 碎片的发生机制可能主要与精子质量而非数量有关。精液 pH 与精子 DNA 碎片率无明显线性关系。精液 pH 值主要反映了精囊腺分泌功能和前列腺分泌功能的平衡情况。有研究显示，精液 pH 与 NP 百分率呈微弱负相关关系，与 PR 百分率、IM 百分率未呈现明显相关性[14]。本文发现，PR 与 IM 和 DFI 呈现中度相关，NP 与 DFI 呈现低度相关，其中存在一定的矛盾性，故精液 pH 可能不是 DFI 的良好预测指标。顶体酶活性与精子 DNA 碎片率呈现低度负相关，但在临床实际中，顶体酶活性初检正常后通常不再复检，因此，虽然两者存在相关性，但实际诊疗中顶体酶活性难以作为 DFI 的预测手段。精液液化情况与抗精子膜抗体和 DFI 间均无明显线性关系，但抗精子膜抗体临床过程中阳性检出较少。本研究的 268 例样本中阳性仅 1 例，故精液液化情况可能不是预测 DFI 的良好指标，而抗精子膜抗体对 DFI 的预测能力尚无法定论。

在临证时，面对高龄、PR 百分率低、NP 百分率低、IM 百分率高、精子畸形率高的不育患者，建议将 DFI 检测作为常规筛查进行。对于依从性高、经济条件较好的患者，可积极进行 DFI 检测；针对 DFI 检测费用为难的患者，可适当参考 PR 百分率、NP 百分率、IM 百分率与精子畸形率的变化曲线，为预测 DFI 变化趋势作参考，降低 DFI 的检测频率和医疗费用。

## 参考文献：

[1] 张杰，吴斌，祝静，等. 男性精子畸形率及 DNA 完整性与复发性流产的相关性[J]. 新乡医学院学报，2024，41(12)：1159－1164.

[2] 刘岱缘，张朝晖，康现江. 精子染色质完整性对功能的影响及其检测方法研究进展[J]. 遗传，2024，46(7)：511－529.

[3]TANDARA M,BAJI A,TANDARA L,et al. Sperm DNA integrity testing:big halo is a good predictor of embryo quality and pregnancy after conventional IVF[J]. Andrology,2014,2(5):678 – 686.

[4]ESBERT M,PACHECO A,VIDAL F,et al. Impact of sperm DNA fragmentation on the outcome of IVF with own or donated oocytes[J]. Reprod Biomed Online,2011,23(6):704 – 710.

[5]OSMAN A,ALSOMAIT H,SESHADRI S,et al. The effect of sperm DNA fragmentation on live birth rate after IVF or ICSI:a systematic review and meta – analysis[J]. Reprod Biomed Online,2015,30(2):120 – 127.

[6]CISSEN M,WELY M V,SCHOLTEN I,et al. Measuring sperm DNA fragmentation and clinical outcomes of medically assisted reproduction:a systematic review and meta – analysis[J]. PLoS One,2016,11(11):e0165125.

[7]SIMON L,CASTILLO J,OLIVA R,et al. Relationships between human sperm protamines,DNA damage and assisted reproduction outcomes[J]. Reprod Biomed Online,2011,23(6):724 – 734.

[8]JIN J Y,PAN C S,FEI Q J,et al. Effect of sperm DNA fragmentation on the clinical outcomes for in vitro fertilization and intracytoplasmic sperm injection in women with different ovarian reserves[J]. Fertil Steril,2015,103(4):910 – 916.

[9]高庆和,晏斌,刘煜,等. 转化医学学会《男性不育症精子DNA 碎片检测临床实践指南》解读[J]. 生殖医学杂志,2020,29(3):416 – 421.

[10]SIMON L,EMERY B,CARRELL D T. Sperm DNA fragmentation:consequences for reproduction[J]. Adv Exp Med Biol,2019,1166:87 – 105.

[11]孙梅,崔文娟. 影响生育力的因素及高龄生育的策略[J]. 山东大学学报:医学版,2019,57(2):23 – 28.

[12]朱家红,高洋,付涛,等. 精子 DNA 损伤对胚胎卵裂模式及胚胎发育的影响[J]. 生殖医学杂志,2022,31(4):441 – 446.

[13]赖昱全,孙瑜冲,黄仔冠,等. 精子特定形态学与部分精子动力学参数的相关性研究[J]. 重庆医学,2023,52(7):1000 – 1003,1008.

[14]张圣强. 年龄、精液 pH 值与成年男性精子质量指标的关系[J]. 中国计划生育学杂志,2022,30(6):1315 – 1317,1322.

**收稿日期**:2024 – 12 – 16

**作者简介**:苗德雨(1997 – ),男,河南焦作人,硕士研究生,研究方向:中医药防治男科疾病。

**通信作者**:王祖龙(1965 – ),男,河南焦作人,教授,博士研究生导师,主要从事生殖医学及男科医疗、教学与研究工作。E – mail:wangzulong123@126.com

编辑:秦小川