

精浆氧化还原电位与精子DNA碎片指数、高DNA着色性及运动参数的相关性研究

刘星池¹,张倩^{1,2},李粟妍¹,关小川¹,张宁¹,于月新¹

(1. 中国人民解放军北部战区总医院生殖医学科,沈阳 110016; 2. 中国医科大学公共卫生学院卫生统计学教研室,沈阳 110122)

摘要 目的 研究精浆氧化还原电位(ORP)和归一化氧化还原电位(nORP)与精子DNA碎片指数(DFI)、高DNA着色性(HDS)及运动参数的相关性,探讨其是否能作为评估男性生育潜能的生物标志物。**方法** 选取2023年10月至12月于中国人民解放军北部战区总医院生殖医学科男科门诊就诊的309例男性作为研究对象。采用电极法检测精浆ORP、nORP,分析其与DFI、HDS、年龄、禁欲时间、精液量、精子总数、精子浓度、前向运动精子数、前向运动精子百分率、非前向精子数、非前向精子百分率、不动精子数、不动精子百分率、精子活动率、曲线速度(VCL)、直线速度(VSL)、平均速度(VAP)、线性指数(LIN)、直性指数(STR)及振动指数(WOB)的相关性;对nORP结果进行三等分,比较其与上述参数的差异。采用广义线性回归探讨nORP与HDS的关系,同时生成HDS与nORP的平滑曲线拟合。**结果** Pearson相关性分析及Spearman相关性分析显示,ORP和nORP均与精液量、不动精子百分率及DFI呈正相关,与前向运动精子数、前向运动精子百分率、精子活动率、VSL、VAP呈负相关($P < 0.05$);不同的是ORP还与禁欲时间、不动精子数呈正相关($P < 0.05$),与LIN、STR及WOB呈负相关($P < 0.05$),而nORP还与HDS呈正相关($P < 0.05$),与精子总数、精子浓度、非前向精子数、非前向精子百分率、不动精子数、VCL呈负相关($P < 0.05$)。nORP分组结果显示,精液量、精子总数、精子浓度、前向运动精子数、前向运动精子百分率、非前向精子数、非前向精子百分率、不动精子数、不动精子百分率、精子活动率、VCL、VSL、VAP、DFI、HDS组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$);将nORP与HDS制作曲线拟合,对年龄及禁欲时间进行了调整。随着HDS的增加,nORP呈线性上升趋势。**结论** ORP、nORP都与精子DFI和主要运动参数相关,但nORP还与代表精子成熟度的HDS相关,更能反映精液质量,可作为评估男性生育潜能的生物标志物。

关键词 精浆氧化还原电位;精子DNA碎片指数;精子高DNA着色性;精子运动参数;氧化应激性不育

中图分类号 R698.2 文献标志码 A 文章编号 0258-4646(2025)01-0056-05

网络出版地址 <https://link.cnki.net/urlid/21.1227.R.20250109.1106.032>

DOI:10.12007/j.issn.0258-4646.2025.01.010

Relationship between seminal plasma oxidation-reduction potential and sperm DNA fragmentation index, high DNA staining, and motility parameters

LIU Xingchi¹,ZHANG Qian^{1,2},LI Liyan¹,GUAN Xiaochuan¹,ZHANG Ning¹,YU Yuexin¹

(1. Department of Reproductive Medicine, General Hospital of Northern Theater Command, Shenyang 110016, China; 2. Department of Health Statistics, School of Public Health, China Medical University, Shenyang 110122, China)

Abstract Objective To investigate the correlation between seminal plasma oxidation-reduction potential (ORP) and normalized ORP (nORP) with sperm DNA fragmentation index (DFI), high DNA staining (HDS), and motility parameters, and to explore whether these parameters can be used as biomarkers for evaluating male fertility potential. **Methods** A total of 309 men who attended the andrology clinic at the Department of Reproductive Medicine, General Hospital of Northern Theater Command, between October 2023 and December 2023, were selected in this study. We analyzed the correlation between seminal plasma ORP and nORP and parameters such as DFI using the electrode method, HDS, age, days of abstinence, semen volume, total sperm count, sperm concentration, sperm motility (forward motile sperm count, forward motile sperm percentage, non-forward sperm count, non-forward sperm percentage, immotile sperm count, immotile sperm percentage, and sperm motility rate), and motility indices (curvilinear velocity [VCL], straight-line velocity [VSL], average velocity [VAP], linear index [LIN], straightness index [STR], and wobble coefficient [WOB]). The nORP results were divided into three groups and analyzed in relation to each of the parameters mentioned above. A generalized linear regression model was used to assess the relationship between nORP and HDS, with smooth curve fitting performed to visualize this relationship. **Results** Pearson and Spearman correlation analyses revealed that both ORP and nORP were positively correlated with semen volume, percentage of immotile sperm, and DFI, but negatively correlated with forward motile sperm count, percentage of forward motile sperm, sperm motility rate, VSL, and VAP ($P < 0.05$).

作者简介:刘星池(1989-),女,主管检验技师,本科。

通信作者:于月新, E-mail: Yuyuexinpingan@163.com

收稿日期:2024-04-03

网络出版时间:2025-01-09 15:40:01

Additionally, ORP was positively correlated with abstinence days and immotile sperm count ($P < 0.05$) and negatively correlated with LIN, STR, and WOB ($P < 0.05$). However, nORP was positively correlated with HDS ($P < 0.05$), and negatively correlated with total sperm count, sperm concentration, non-forward sperm count, non-forward sperm percentage, immotile sperm count, and VCL ($P < 0.05$). The nORP group showed significant differences in semen volume, total sperm count, sperm concentration, forward motile sperm count, forward motile sperm percentage, non-forward sperm count, non-forward sperm percentage, immotile sperm count, immotile sperm percentage, sperm motility rate, VCL, VSL, VAP, DFI, and HDS ($P < 0.05$). A smooth curve fitting of nORP and HDS, adjusted for age and abstinence days, demonstrated a linear upward trend in nORP as HDS increased. **Conclusion** Both ORP and nORP are associated with sperm DFI and key motility parameters. Moreover, nORP is closely related to HDS, which reflects sperm maturity, offering a more comprehensive indicator of semen quality. Thus, nORP can be utilized as a biomarker for assessing male fertility potential.

Keywords seminal plasma oxidation-reduction potential; sperm DNA fragment index; sperm high DNA staining; sperm motility parameter; oxidative stress sterility

据世界卫生组织估计,全球约有1.9亿人患有不孕(育)症^[1]。约50%的不孕(育)症是部分或全部归因于男性因素^[2]。氧化应激(oxidative stress, OS)在男性不育症的病因学中起着重要作用^[3-4],准确评估OS对于男性不育症的临床诊断和治疗非常重要。目前OS的检测方法包括对氧化剂、抗氧化剂、事后损伤[如丙二醛、精子DNA碎片指数(DNA fragmentation index, DFI)]的检测,这些检测结果并不相互关联,只能提供单一的OS指标^[5-6]。而精浆氧化还原电位(oxidation reduction potential, ORP)是衡量氧化剂和抗氧化剂/还原剂之间总体平衡的指标^[7]。本研究采用检测精浆ORP的方法检测OS,并对精浆归一化氧化还原电位(normalization oxidation-reduction potential, nORP)与精子DNA碎片化及精子运动参数的相关性进行研究,探讨nORP能否作为评估男性生育潜能的生物标志物。

1 材料与方法

1.1 研究对象

选取2023年10月至12月于中国人民解放军北部战区总医院生殖医学科男科门诊就诊的309例男性作为研究对象。纳入标准:禁欲2~7 d;精子浓度 $\geq 5 \times 10^6/\text{mL}$;有活动精子。排除标准:已确诊重度少精症、无精症;白细胞精子症;精液液化障碍及黏稠度异常。根据nORP进行三等分, $\leq 4.00 \text{ mV}/(10^6 \cdot \text{mL}^{-1})$ 为低值组($n = 102$), $>4.00 \sim <9.08 \text{ mV}/(10^6 \cdot \text{mL}^{-1})$ 为中间组($n = 103$), $\geq 9.08 \text{ mV}/(10^6 \cdot \text{mL}^{-1})$ 为高值组($n = 104$)。本研究获得中国人民解放军北部战区总医院医学伦理委员会批准[伦审(2024)1号]。所有研究对象知情同意。

1.2 研究方法

1.2.1 精液标本采集:通过手淫法收集精液,置于37 °C恒温水浴箱中,待精液彻底液化进行检测。

1.2.2 精子运动参数检测:采用IVOS II全自动精子质量分析仪(美国Hamilton Thorne公司)检测精液,获取精子运动参数,包括精液量、精子总数、精子浓度、前向运动精子数、前向运动精子百分率、非前向精子数、非前向精子百分率、不动精子数、不动精子百分率、精子活动率、曲线速度(curvilinear velocity, VCL)、直线速度(straight line velocity, VSL)、平均速度(average path velocity, VAP)、线性指数(linearity index, LIN)、直性指数(straightness index, STR)及振动指数(wobble index, WOB)。所有检测操作严格按照世界卫生组织《人类精液检查与处理实验室手册(第5版)》^[8]的标准进行。

1.2.3 精子DFI及高DNA着色性(high DNA staining, HDS)检测:采用C5型流式细胞仪(美国BD公司)及精子DNA完整性诊断试剂盒(浙江星博生物科技股份有限公司),按照精子染色质结构测定法检测研究对象的精子DFI和HDS水平。

1.2.4 精浆ORP检测:将精液以4 000 r/min、10 cm有效半径离心15 min,留取精浆后使用YHBJ-262型便携式ORP计(上海仪电科学仪器股份有限公司)检测精浆ORP水平,然后将ORP数据除以精子浓度以控制精子数量的差异,获得的数值为nORP,报告单位为 $\text{mV}/(10^6 \cdot \text{mL}^{-1})$ 。ORP为正时表明氧化作用强于还原作用,ORP为负时表明还原作用强于氧化作用。ORP越大,氧化和还原之间的不平衡就越大。

1.3 统计学分析

采用R 4.3.2软件进行统计学分析。符合正态分

布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验;不符合正态分布的计量资料以 $M(P_{25} \sim P_{75})$ 表示,组间比较采用非参数检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用Pearson或Spearman相关性检验分析ORP、nORP与各指标的相关性。采用广义线性回归方法探讨nORP与HDS的关系,同时生成HDS与nORP的平滑曲线拟合。

2 结果

2.1 一般临床资料及精子运动参数特征

本研究纳入的309例男性平均年龄为31(28~34)岁、禁欲时间为4(3~5)d、精液量3.68(2.95~4.59)mL、精子总数 92.15×10^6 ($49.63 \times 10^6 \sim 158.79 \times 10^6$)、精子浓度 $25.90 \times 10^6/\text{mL}$ ($13.45 \times 10^6/\text{mL} \sim 44.14 \times 10^6/\text{mL}$)、前向运动精子数 46.73×10^6 ($22.40 \times 10^6 \sim 80.17 \times 10^6$)、前向运动精子百分率53.00%(39.00%~63.00%)、非

前向精子数 7.32×10^6 ($3.43 \times 10^6 \sim 15.76 \times 10^6$)、非前向精子百分率8.00%(6.00%~11.00%)、不动精子数 33.68×10^6 ($18.54 \times 10^6 \sim 56.47 \times 10^6$)、不动精子百分率38.00%(28.00%~50.00%)、总活动率62.00%(50.00%~72.00%)、VCL(66.31 ± 15.25) $\mu\text{m/s}$ 、VSL 33.14(28.39~36.27) $\mu\text{m/s}$ 、VAP(41.43 ± 8.05) $\mu\text{m/s}$ 、LIN 52.03 ± 7.33 、STR 80.36(76.39~84.30)、WOB 64.80(61.85~67.58)、DFI 7.14%(4.50%~10.42%)、HDS 7.08%(5.59%~9.21%)、ORP(156.44 ± 16.49)mV、nORP 5.94(3.62~11.42)mV/($10^6 \cdot \text{mL}^{-1}$)。根据nORP进行三等分,精液量、精子总数、精子浓度、前向运动精子数、前向运动精子百分率、非前向精子数、非前向精子数百分率、不动精子数、不动精子百分率、精子活动率、VCL、VSL、VAP、LIN组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$),见表1。

2.2 ORP与精子DFI、HDS及运动参数的相关性

表1 一般临床资料及精子运动参数特征比较
Tab.1 General clinical data and comparison of sperm motility parameter characteristics

Index	Total (n = 309)	Low nORP (n = 102)	Middle nORP (n = 103)	High nORP (n = 104)	P
Age (year)	31.00 (28.00-34.00)	30.50 (27.25-33.75)	31.00 (27.50-34.00)	31.00 (28.75-34.00)	0.782
Days of abstinence (d)	4.00 (3.00-5.00)	4.00 (3.00-5.00)	4.00 (3.00-5.00)	4.00 (3.00-5.00)	0.887
Semen volume (mL)	3.68 (2.95-4.59)	3.33 (2.68-4.38)	3.91 (2.92-4.56)	3.73 (3.15-4.90)	0.009
Total sperm count ($\times 10^6$)	92.15 (49.63-158.79)	178.01 (133.92-221.50)	94.92 (74.95-125.37)	39.01 (27.04-56.59)	<0.001
Sperm concentration ($\times 10^6/\text{mL}$)	25.90 (13.45-44.14)	50.66 (44.17-62.73)	25.90 (21.82-31.80)	10.31 (7.37-13.45)	<0.001
Forward motile sperm count ($\times 10^6$)	46.73 (22.40-80.17)	90.34 (65.69-138.33)	51.83 (33.88-66.73)	14.93 (10.34-4.53)	<0.001
Forward motile sperm percentage (%)	53.00 (39.00-63.00)	57.00 (43.00-66.75)	56.00 (45.00-64.50)	46.50 (30.00-5.00)	<0.001
Non-forward sperm count ($\times 10^6$)	7.32 (3.43-15.76)	16.84 (12.48-23.37)	7.99 (5.22-13.75)	2.56 (1.57-4.29)	<0.001
Non-forward percentage (%)	8.00 (6.00-11.00)	10.00 (8.00-12.00)	9.00 (7.00-11.00)	7.00 (5.00-9.00)	<0.001
Immotile sperm count ($\times 10^6$)	33.68 (18.54-56.47)	60.27 (37.39-86.27)	36.19 (22.13-51.30)	18.21 (12.03-28.24)	<0.001
Immotile sperm percentage (%)	38.00 (28.00-50.00)	31.00 (24.00-44.75)	34.00 (25.50-45.50)	44.00 (38.00-64.00)	<0.001
Sperm motility rate (%)	62.00 (50.00-72.00)	69.00 (55.25-76.00)	66.00 (54.50-74.50)	56.00 (36.00-62.00)	<0.001
VCL ($\mu\text{m/s}$)	66.31 ± 15.25	70.34 ± 14.32	67.43 ± 14.91	61.24 ± 15.19	<0.001
VSL ($\mu\text{m/s}$)	33.14 (28.39-36.27)	34.39 (30.10-37.53)	33.48 (29.45-36.34)	31.04 (26.90-35.05)	<0.001
VAP ($\mu\text{m/s}$)	41.43 ± 8.05	43.82 ± 7.79	42.00 ± 7.67	38.51 ± 7.84	<0.001
LIN	52.03 ± 7.33	51.70 ± 6.19	52.01 ± 6.41	52.37 ± 9.06	0.392
STR	80.36 (76.39-84.30)	78.94 (76.12-82.87)	80.54 (76.75-83.80)	81.28 (76.89-85.86)	0.072
WOB	64.80 (61.85-67.58)	64.38 (62.06-67.51)	64.82 (61.16-67.16)	64.99 (62.21-68.29)	0.538
DFI (%)	7.14 (4.50-10.42)	6.49 (4.25-9.75)	7.18 (4.35-10.25)	7.88 (5.37-11.27)	0.068
HDS (%)	7.08 (5.59-9.21)	6.07 (4.72-8.14)	6.90 (5.70-8.44)	8.16 (6.56-11.09)	<0.001
ORP (mV)	156.44 ± 16.49	153.33 ± 15.00	155.00 ± 14.68	160.88 ± 16.68	0.003

Low nORP, $\leq 4.00 \text{ mV}/(10^6 \cdot \text{mL}^{-1})$; middle nORP, >4.00 to $<9.08 \text{ mV}/(10^6 \cdot \text{mL}^{-1})$; high nORP, $\geq 9.08 \text{ mV}/(10^6 \cdot \text{mL}^{-1})$.

Pearson相关性分析及Spearman相关性分析结果表明,ORP和nORP均与精液量、不动精子百分率

及DFI呈正相关,与前向运动精子数、前向运动精子百分率、精子活动率、VSL、VAP呈负相关($P < 0.05$);

另外,ORP还与禁欲时间、不动精子数呈正相关($P < 0.05$),LIN、STR及WOB呈负相关($P < 0.05$),而nORP还与HDS呈正相关($P < 0.05$),精子总数、精子浓度、

非前向精子数、非前向精子百分率、不动精子数、VCL呈负相关($P < 0.05$)。见表2。

2.3 nORP与HDS的关系

表2 ORP与精子DFI、HDS及运动参数的相关性分析

Tab.2 Analysis of the correlation between ORP and sperm DFI, HDS, and motility parameters

Index	ORP		nORP	
	r	P	r	P
Age	0.017 0	0.766	0.031 4	0.582
Days of abstinence	0.244 0	<0.001	0.005 9	0.918
Semen volume	0.181 6	0.001	0.169 3	0.003
Total sperm count	-0.022 1	0.698	-0.869 9	<0.001
Sperm concentration	-0.106 7	0.061	-0.991 2	<0.001
Forward motile sperm count	-0.117 8	0.039	-0.825 8	<0.001
Forward motile sperm percentage	-0.256 6	<0.001	-0.265 3	<0.001
Non-forward sperm count	-0.034 9	0.541	-0.828 3	<0.001
Non-forward sperm percentage	-0.037 0	0.517	-0.323 0	<0.001
Immotile sperm count	0.112 9	0.047	-0.654 2	<0.001
Immotile sperm percentage	0.253 5	<0.001	0.345 1	<0.001
Sperm motility rate	-0.253 3	<0.001	-0.344 5	<0.001
VCL	-0.093 8	0.100	-0.265 1	<0.001
VSL	-0.114 9	0.044	-0.245 8	<0.001
VAP	-0.136 4	0.017	-0.289 3	<0.001
LIN	-0.232 2	<0.001	0.064 9	0.256
STR	-0.170 2	0.003	0.111 4	0.050
WOB	-0.157 6	0.006	0.049 2	0.389
DFI	0.286 7	<0.001	0.128 6	0.024
HDS	0.066 5	0.244	0.338 1	<0.001

采用广义线性回归方法探讨nORP与HDS的关系,并制作nORP与HDS的平滑曲线拟合,中间线表示变量之间的平滑曲线,两侧线代表95%CI的上限和下限。对年龄及禁欲时间进行了调整,随着HDS的增加,nORP呈线性上升趋势,见图1。另外,使用2种模型(未调整模型及部分调整模型)评估nORP与HDS之间的关联性。在未调整模型中,nORP与HDS呈正相关($\beta=0.14, 95\%CI:0.09\sim0.19, P < 0.01$)。在部分调整模型(调整年龄、禁欲时间、精液量)中,nORP与HDS呈正相关($\beta=0.15, 95\%CI:0.10\sim0.19, P < 0.01$)。模型调整前后结果无明显差异。

3 讨论

特发性不育症的可能原因之一是精液、精浆或精子中活性氧簇(reactive oxygen species, ROS)增加

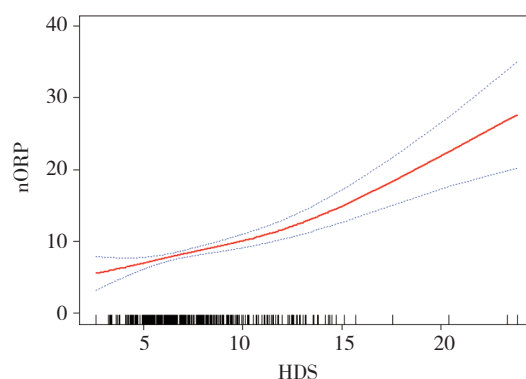


图1 HDS与nORP的关系(曲线拟合)

Fig.1 Relationship between HDS and nORP (curve fitting)

所致的OS。全球男性不育症中半数以上是由于OS导致^[9]。精子因其有限的抗氧化系统,对ROS的损伤作用非常敏感^[10]。有限的抗氧化反应导致精液中多不饱和脂肪酸被氧化,脂质过氧化水平增加^[11]。此外,

精子的DNA修复系统有限。精液中含有不同成熟度的精子、白细胞、上皮细胞和生精过程中形成的圆形细胞^[12],ROS主要由白细胞、形态异常的精子或未成熟精子产生^[13]。本研究发现,精子活动率、DFI,尤其是HDS,与nORP呈强相关性,且随着HDS增加,nORP呈线性上升趋势。目前,国内直接证明OS与精子活力异常之间关系的研究较少。因此,评价男性精液中ROS、OS水平对预测精子活力异常及OS不育的风险具有重要的临床意义。

快速、准确检测ROS或评价男性精液OS是临床中需要解决的关键技术问题。目前临床中已有的直接、间接检测OS的方法的重点均是评估ROS的形成、脂质过氧化产物和总抗氧化能力^[14]。ORP作为一种评估OS的新方法,可反映精液中氧化相关分子和抗氧化相关分子的比率。有研究^[15]通过Mioxsys系统测试ORP并进行评估,该测试使用低电压还原电流测量从抗氧化剂到氧化剂的电子转移,获得的数据反映精液样本中所有氧化剂和抗氧化剂活性的相对值,高水平ORP表明氧化剂的活性相对增加,可通过小体积精液样本反映男性精液高水平OS。ORP测定被认为是最快的、患者接受程度最高的OS检测方法,且不需要检测人员具备特殊的专业知识,可快速应用于临床^[16]。我院生殖实验室在国内首先采用精浆ORP电极方法检测OS,与Mioxsys系统不同,该方法通过收集1 mL精液并离心取精浆测量ORP。本研究中,将nORP分组后发现,低nORP组、中间nORP组、高nORP组的前向运动精子百分率、非前向精子百分率、精子活动率、VCL、VSL及VAP依次降低,而不动精子百分率依次升高,且组间差异均有统计学意义($P < 0.05$),与既往研究^[17]结果一致,提示nORP同样能反映男性精液的OS水平。另外,本研究采用的nORP检测成本更低、操作更简便,因此更具有临床推广价值。

本研究的不足之处为纳入研究的样本量有限,且为单中心研究。后期将通过扩大样本量进行男性群体的分层分析,以提高结果的可信度和适用性。

综上所述,本研究通过对精液样本的ORP、nORP、DFI、HDS及常规数据分析,发现ORP、nORP均与DFI和主要运动参数相关,且nORP还与代表精子成熟度的HDS相关,更能反映精液质量,可作为评估男性生育潜能的生物标志物。

参考文献:

- [1] INHORN MC, PATRIZIO P. Infertility around the globe: new thinking on gender, reproductive technologies and global movements in the 21st century [J]. Hum Reprod Update, 2015, 21 (4): 411-426. DOI: 10.1093/humupd/dmv016.
- [2] AGARWAL A, MULGUND A, HAMADA A, et al. A unique view on male infertility around the globe [J]. Reprod Biol Endocrinol, 2015, 13: 37. DOI: 10.1186/s12958-015-0032-1.
- [3] 李宇翔, 谭扬扬, 张大伟, 等. 氧化应激与男性不育症相关性研究进展 [J]. 发育医学电子杂志, 2023, 11 (2): 141-147. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5340.2023.02.010.
- [4] 裴梦月, 谢雷, 杨媛, 等. 抗氧化剂在男性不育症治疗中的研究进展 [J]. 中国性科学, 2022, 31 (6): 15-19. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1993.2022.06.005.
- [5] 赵晓龙. 弱精子症影响因素的病例对照研究及氧化应激与精子质量的关联性研究 [D]. 西安: 中国人民解放军空军军医大学, 2023.
- [6] 兰贵斌, 梁林慧, 余飞, 等. 男性不育患者精子顶体酶活性、精子DNA碎片指数与精液质量参数相关性 [J]. 临床军医杂志, 2022, 50 (9): 934-937. DOI: 10.16680/j.1671-3826.2022.09.16.
- [7] AGARWAL A, WANG SM. Clinical relevance of oxidation-reduction potential in the evaluation of male infertility [J]. Urology, 2017, 104: 84-89. DOI: 10.1016/j.urology.2017.02.016.
- [8] 曹兴午, 林凯, 李翠英, 等. 评《WHO人类精液检查与处理实验室手册》(第5版) [J]. 中华男科学杂志, 2011, 17 (12): 1059-1063.
- [9] 王姣, 蔡姣, 王亚兰, 等. 氧化应激与男性生殖健康的研究进展 [J]. 中国性科学, 2024, 33 (10): 10-14. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1993.2024.10.003.
- [10] PANNER SELVAM MK, BASKARAN S, O'CONNELL S, et al. Association between seminal oxidation-reduction potential and sperm DNA fragmentation—a meta-analysis [J]. Antioxidants, 2022, 11 (8): 1563. DOI: 10.3390/antiox11081563.
- [11] AGARWAL A, ARAFA M, CHANDRAKUMAR R, et al. A multicenter study to evaluate oxidative stress by oxidation-reduction potential, a reliable and reproducible method [J]. Andrology, 2017, 5 (5): 939-945. DOI: 10.1111/andr.12395.
- [12] 赵琦, 李海松, 陈元昊, 等. 男性生育力下降相关影响因素的研究进展 [J]. 中国生育健康杂志, 2024, 35 (4): 392-397. DOI: 10.3969/j.issn.1671-878X.2024.04.021.
- [13] ZHANG XD, CHEN Q. A twist between ROS and sperm-mediated intergenerational epigenetic inheritance [J]. Mol Cell, 2020, 78 (3): 371-373. DOI: 10.1016/j.molcel.2020.04.003.
- [14] 孙博, 马婧, 邓佩佩, 等. 不育男性精浆硒与血清生殖激素、精浆生化及氧化应激的相关性研究 [J]. 中国男科学杂志, 2022, 36 (2): 59-63. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0848.2022.02.009.
- [15] 赵玉, 栾祖乾, 孙远, 等. 《男性氧化应激性不育: 特发性男性不育症的专业术语建议和临床实践指南》解读 [J]. 中华生殖与避孕杂志, 2022, 42 (10): 1026-1030. DOI: 10.3760/ema.j.cn101441-20210509-00202.
- [16] PEEL A, SAINI A, DELUAO JC, et al. Sperm DNA damage: the possible link between obesity and male infertility, an update of the current literature [J]. Andrology, 2023, 11 (8): 1635-1652. DOI: 10.1111/andr.13409.
- [17] AGARWAL A, SHARMA R, ROYCHOUDHURY S, et al. Mioxsys: a novel method of measuring oxidation reduction potential in semen and seminal plasma [J]. Fertil Steril, 2016, 106 (3): 566-573.e10. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2016.05.013.