

铁死亡信号通路关键研究靶点与研究策略

01 铁死亡的背景知识

02 铁死亡的研究策略和主要方法

03 铁死亡的信号通路及关键研究靶点

A grayscale background image of a laboratory setting. In the foreground, a hand is using a glass pipette to transfer liquid into a test tube. Several other test tubes are arranged in a metal rack. The background is filled with a repeating pattern of the ABclonal logo and the word "ABclonal" in a light gray, semi-transparent font.

01 | 铁死亡的背景知识

程序性细胞死亡 (凋亡、自噬、坏死性凋亡、焦亡、铁死亡)

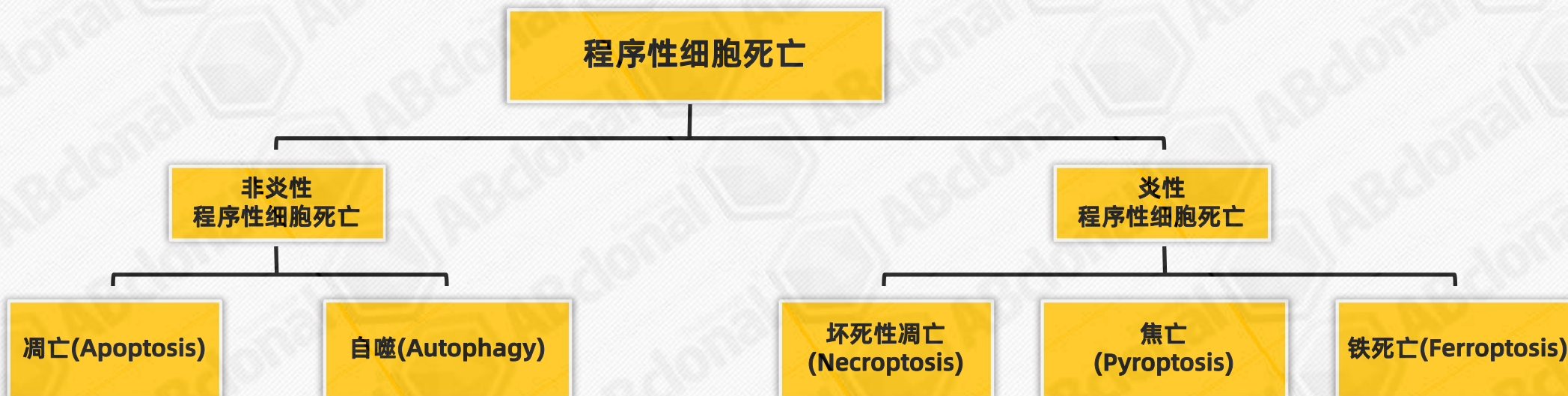
程序性细胞死亡是生物体生命周期中普遍存在的调控过程，是一个由基因决定的细胞主动有序的死亡方式。

- 通常发生在正常发育过程中或缓和应激压力条件下（例如DNA损伤、缺氧、局部缺血等）
- 无用细胞自然死亡或受损细胞的严格调控死亡
- 涉及基因表达和蛋白质级联反应调控
- 膜结构在部分PCD过程中保持相对完整
- 一些程序性细胞死亡会将免疫原性细胞内含物释放到细胞外空间，从而引起炎症反应
- 过程不可逆或可逆

非程序性细胞死亡 (细胞坏死/Necrosis)

细胞坏死是由于自溶引起的细胞过早死亡（酶释放后细胞会自我消化，是一种被动的死亡方式）。

- 发生在极端或严重的压力条件下（例如体温过低、严重缺氧或局部缺血、外伤等）
- 大量细胞意外死亡
- 细胞和组织紊乱分解
- 膜结构破坏
- 细胞死亡产物不受控制地释放到细胞外空间，引发炎症反应
- 过程不可逆



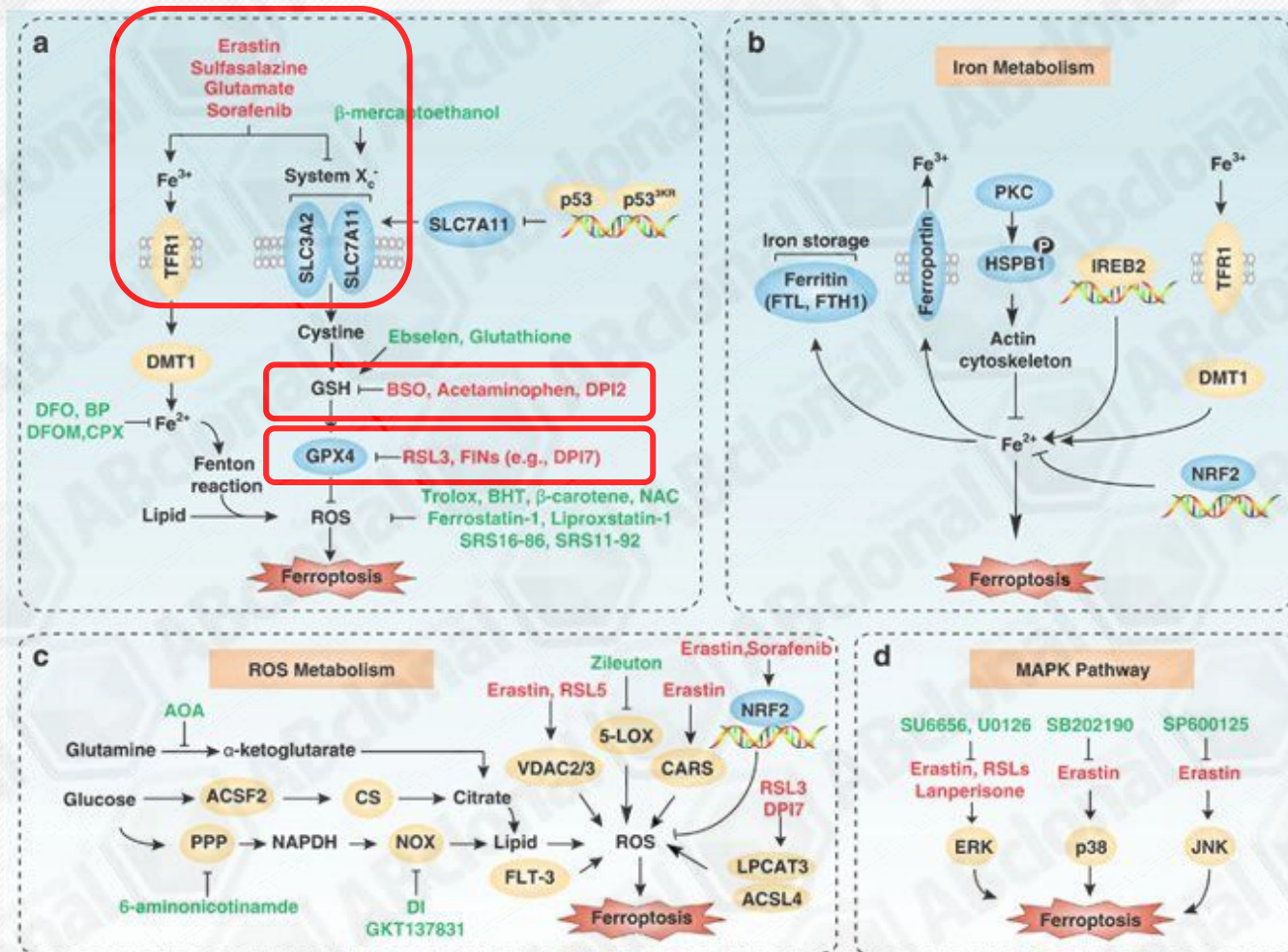
非程序性细胞死亡
(细胞坏死/Necrosis)

炎性细胞死亡

诱发铁死亡的相关因素

相关因素 1

铁离子



- GPX4的失活(比如 RSL3)
- 抑制胱氨酸的摄入(比如小分子化合物 erastin, 胱氨酸/谷氨酸反转运体抑制剂SAS或高浓度的谷氨酸)
- 谷胱甘肽(GSH)的缺乏(比如GSH合成的限速酶GCL抑制剂 BSO)

相关因素 2

脂质过氧化

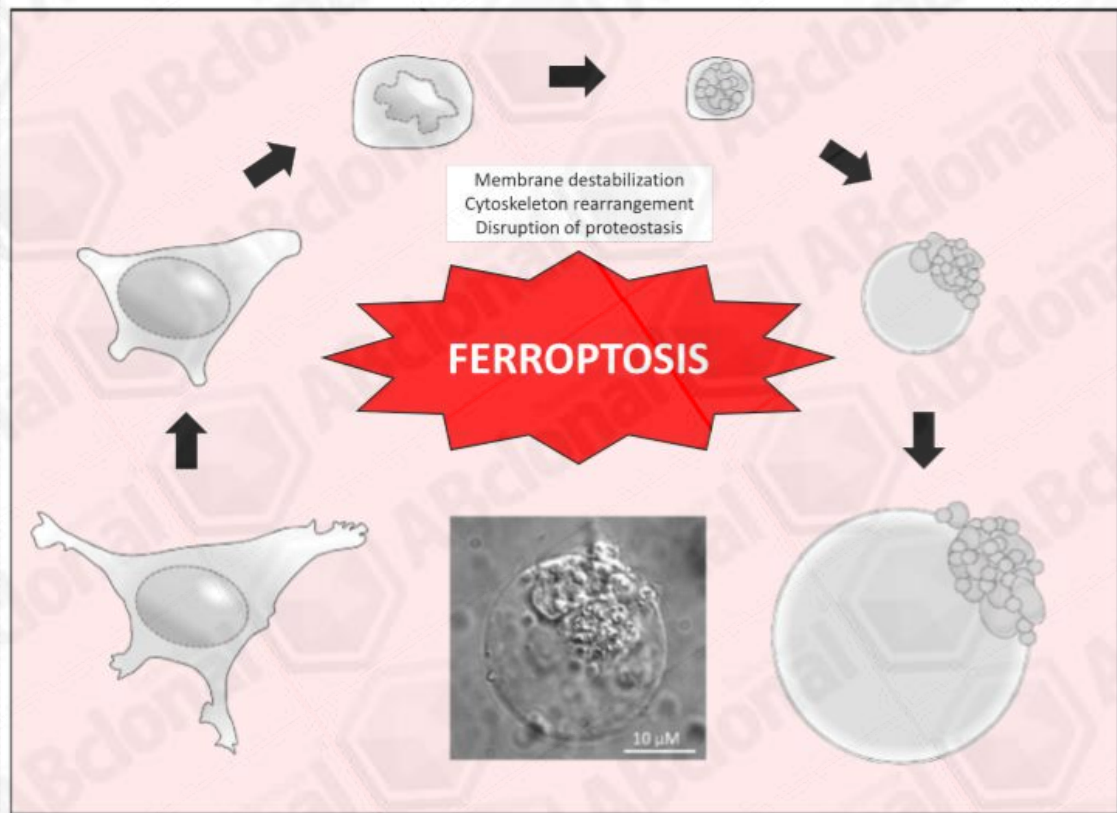
Cell Death & Differentiation (2016) volume 23, pages369-379

诱导铁死亡的其他生理或病理条件

Treatment	System	Observation
Glutamate	Rat postnatal hippocampal slice culture	Death suppressed by Fer-1, CPX
Cystine deprivation	Rat postnatal pre-oligodendrocyte cultures	Death suppressed by Fer-1
Huntington gene fragment overexpression	Transfected postnatal corticostriatal rat brain slice	Death suppressed by Fer-1
Iron overload	Mouse kidney proximal tubules	Death suppressed by Fer-1
Acetaminophen	Mouse hepatocytes	Death suppressed by Fer-1
<i>Gpx4</i> deletion	MEFs, mouse kidney cells, mouse T cells	Rapid death, suppressed by vitamin E, Fer-1
p53 upregulation	MEFs	p53 upregulation leads to sensitization to ferroptosis
Ischemia/reperfusion	Mouse kidney (in vivo), mouse heart (ex vivo)	Death suppressed by Fer-1 analogs, iron chelation
Amino acid deprivation in presence of serum and glucose	MEFs	Death suppressed by Fer-1

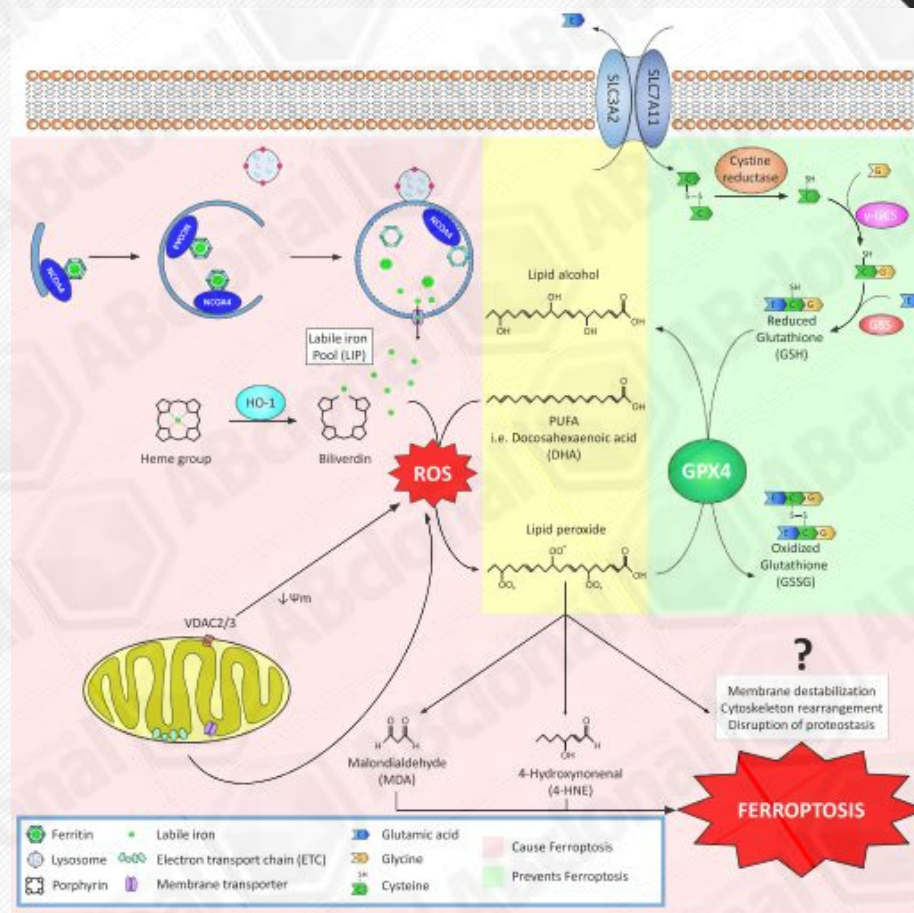
MEFs mouse embryonic fibroblasts, β -ME beta-mercaptoethanol

铁死亡的形态特征和生化特征



形态特征

细胞膜不稳定，细胞骨架重排，蛋白质平衡被打破，线粒体密度小于正常值，线粒体膜密度升高，线粒体嵴减少或消失，线粒体外膜破裂

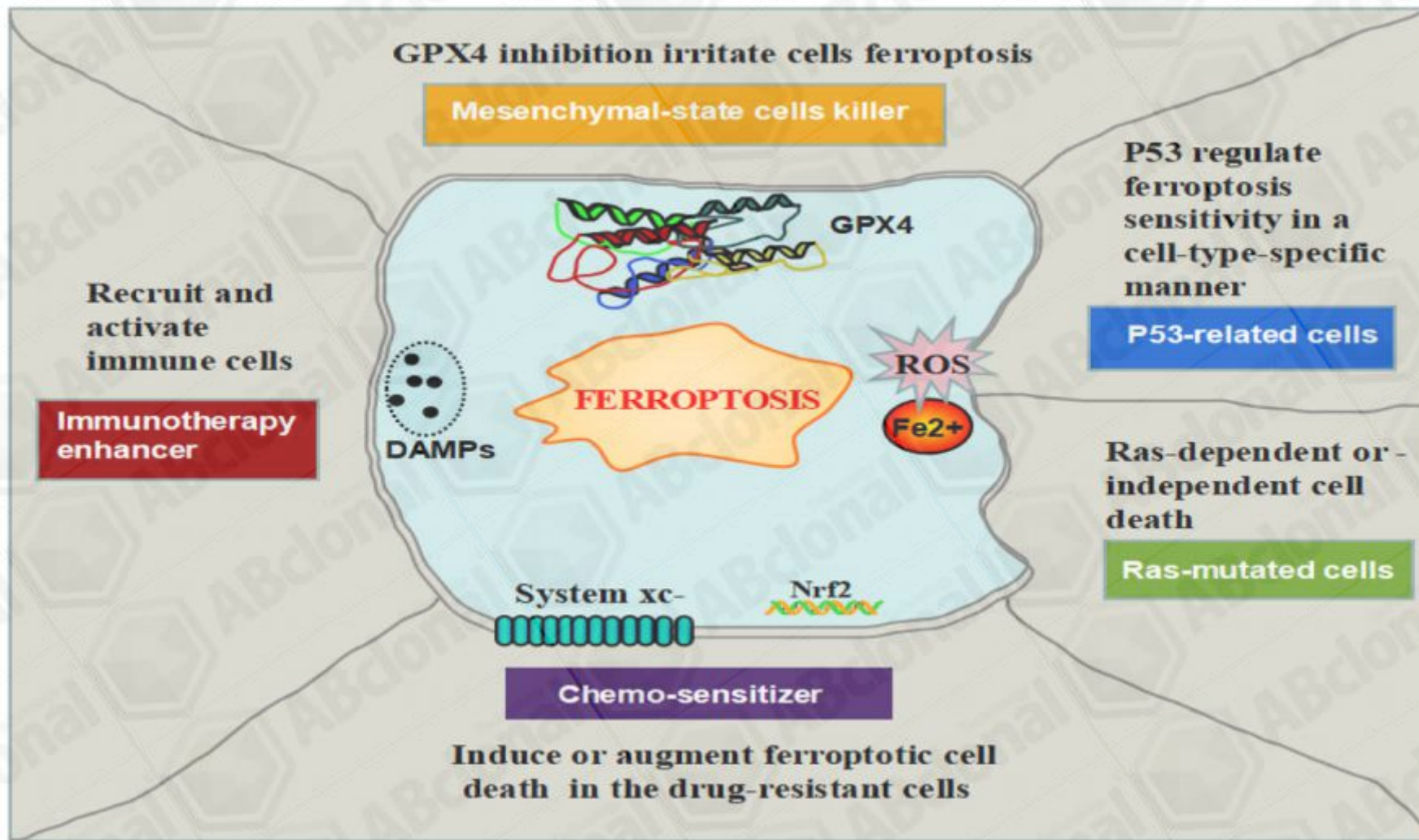


生化特征

GSH和NADPH降低；GPX4活性抑制；铁累积和脂质过氧化；COX-2水平增加；多不饱和脂肪酸磷脂耗尽；ROS增加；副产物MDA和4-HNE产生

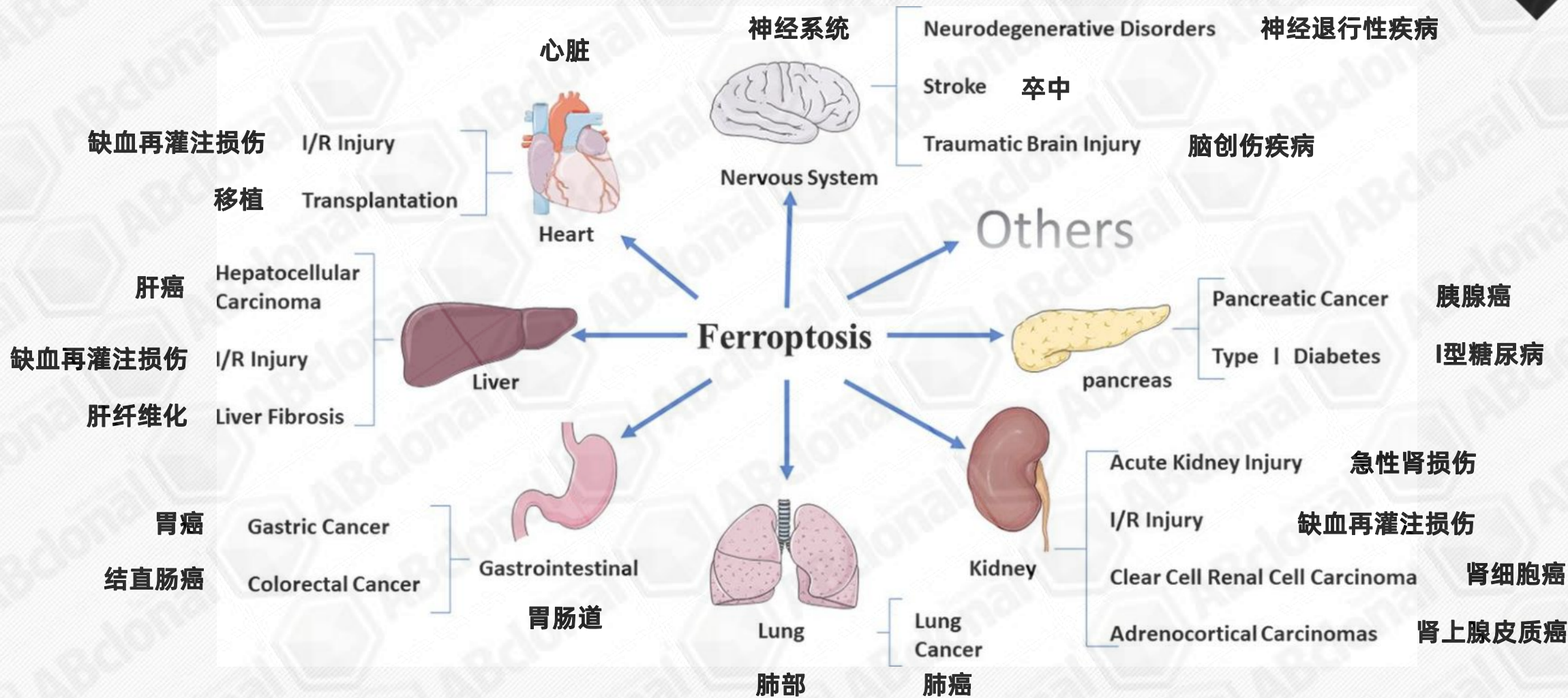
不同程序性细胞死亡生化特征和形态特征的对比

程序性细胞死亡分类	凋亡	自噬	坏死性凋亡	焦亡	铁死亡
生化特征	Caspases活化级联反应； 磷脂酰丝氨酸外翻； DNA片段化	LC3 脂质化；溶酶体活性增加	RIPK1、RIPK3和MLKL通过磷酸化激活；RIPK1与RIPK3相互作用及RIPsome形成；MLKL易位到质膜，MLKL多聚化和细胞孔道形成；ATP水平下降	炎性小体和下游信号分子激活和组装；促炎性Caspases剪切激活；Gasdermin N末端片段的剪切、寡聚化和易位以及膜孔形成	GSH和NADPH降低；GPX4活性抑制；铁累积和脂质过氧化；COX-2水平增加；多不饱和脂肪酸磷脂耗尽；ROS增加；副产物副产物MDA和4-HNE产生
形态特征	细胞收缩；膜起泡；染色体凝结；核碎裂；吞噬细胞吞噬	在细胞质中大量积聚两层膜结构的自噬泡（自噬体）；自噬体与溶酶体融合以降解内容物	细胞和细胞器肿胀；染色体凝结；膜破裂并释放胞质内含物	膜破裂；释放致炎性细胞成分和促炎细胞因子	细胞膜不稳定，细胞骨架重排，蛋白质平衡被打破，线粒体密度小于正常值，线粒体膜密度升高，线粒体嵴减少或消失，线粒体外膜破裂
是否会引起炎症反应	一般认为不会	一般认为不会	是	是	是



Journal of Hematology & Oncology (2019) 12:34

铁死亡与其他疾病



A grayscale background image of a laboratory setting. In the foreground, a hand is using a glass pipette to transfer liquid into a test tube. In the background, a rack holds several other test tubes. The entire scene is overlaid with a repeating pattern of the ABclonal logo and the word "ABclonal" in a light gray, semi-transparent font.

02 | 铁死亡的研究策略和主要方法

铁死亡的研究策略

探究阶段

典型的研究目的:

确定铁死亡是否参与特定的病理过程

典型的研究策略

Step 1: 建立特定病理过程的细胞模型(或动物模型)

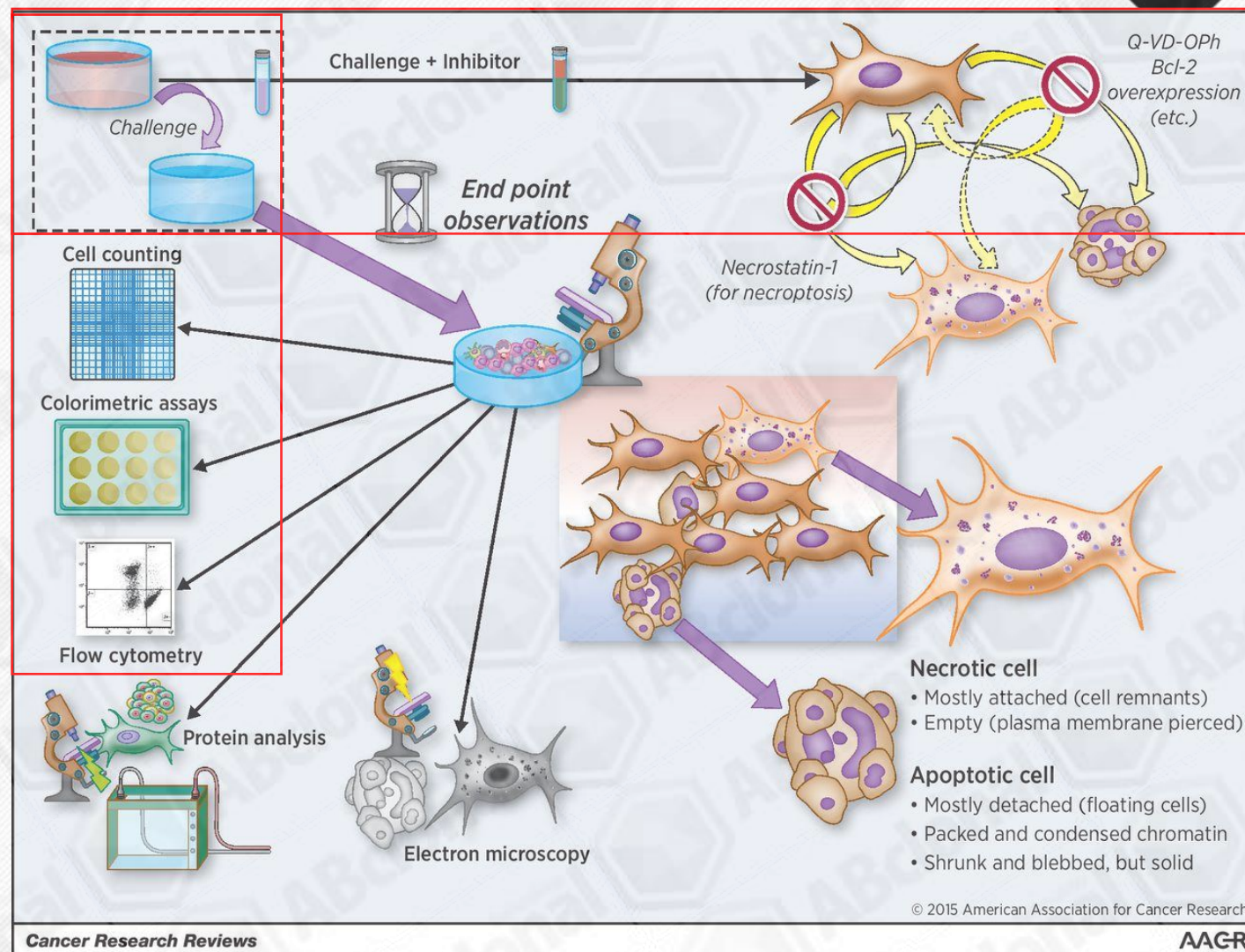
Step 2: 在该刺激应激下, 使用 铁死亡特异性抑制剂或诱导剂 处理细胞.

或使用 铁死亡相关基因干预的 (KO / 敲低 / 过表达) 细胞进行测试

Step 3: 评估实验组 (例如刺激+抑制剂或刺激+诱导剂) 和对照组 (例如仅使用某种刺激) 的细胞死亡情况

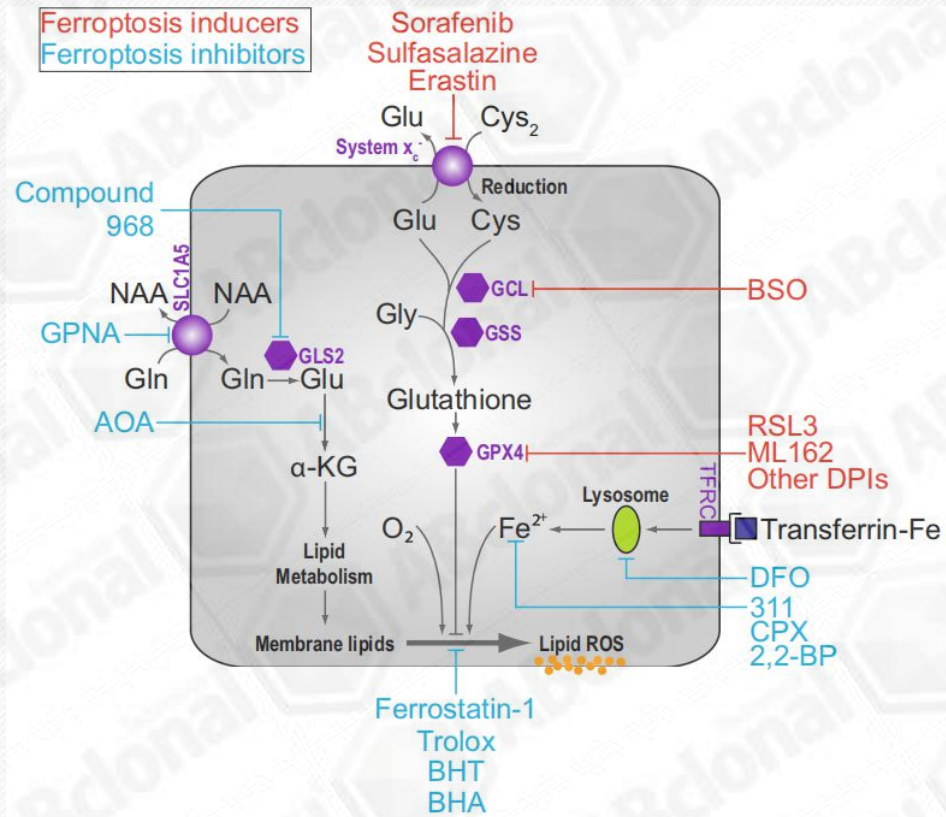
方法:

- 细胞存活分析
- 铁死亡相关生化分析
- 特异性标志分子靶标分析 (WB、IHC、IF和FLOW)



Cancer Res. 2015 Mar 15;75(6):913-7

铁死亡的诱导剂和抑制剂



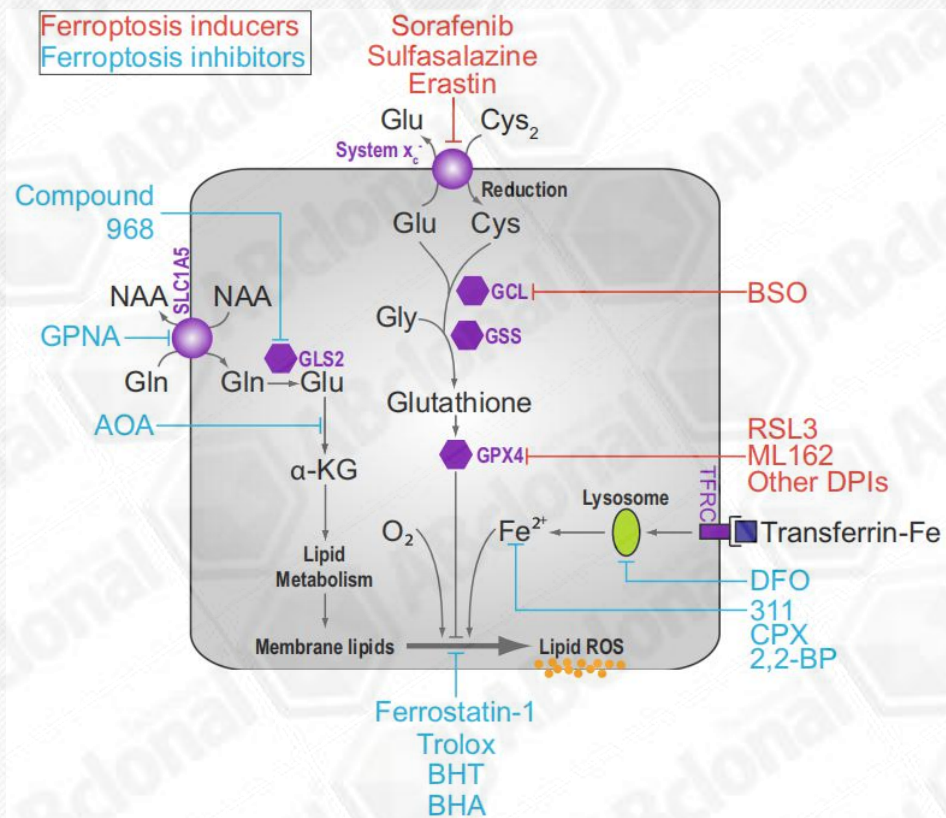
更多诱导剂

Reagent	Target/Function	Impact on Ferroptosis
erastin, PE, IKE, other erastin analogs	system x_c^-	prevents cystine import, causes GSH depletion
sulfasalazine	system x_c^-	low potency inhibitor that prevents cystine import, causes GSH depletion
glutamate	system x_c^-	high extracellular glutamate concentrations prevent cystine import, causes GSH depletion
sorafenib	system x_c^-	indirectly blocks system x_c^- activity resulting in GSH depletion
(1S,3R)-RSL3	GPX4	covalent inhibitor of GPX4 that causes accumulation of lipid hydroperoxides
ML162, DPI compounds 7,10, 12, 13, 17, 18, 19	GPX4	covalent inhibitor of GPX4 that causes accumulation of lipid hydroperoxides
cystine/cysteine deprivation, BSO, DPI2, cisplatin	GSH	deplete GSH
FIN56	SQS and GPX4	depletes CoQ10 via SQS-mevalonate pathway and causes decrease in GPX4 protein abundance
FINO2	lipid peroxidation	induces lipid peroxidation and loss of GPX4 activity
statins (e.g., cerivastatin, simvastatin)	HMGCR	block CoQ10 biosynthesis via mevalonate pathway
cysteinase	cysteine	depletes cysteine, resulting in GSH depletion
silica-based nanoparticles	GSH, iron	deliver iron into cells and reduce GSH abundance
CCl4	unknown	unknown
ferric ammonium citrate	iron	increased iron abundance
trigonelline, brusatol	NRF2	blocks NRF2

Cell. Mol. Life Sci. (2016) 73:2195–2209

Cell (2017) 171 (2), 273–285

铁死亡的诱导剂和抑制剂



更多抑制剂

Reagent	Target/Function	Impact on Ferroptosis
vitamin E, alpha-tocopherol, trolox, tocotrienols	lipid peroxidation	blocks propagation of lipid peroxidation, may inhibit lipoxygenases
deuterated polyunsaturated fatty acids (D-PUFAs)	lipid peroxidation	blocks initiation and propagation of lipid peroxidation
butylated hydroxytoluene, butylated hydroxyanisole	lipid peroxidation	blocks lipid peroxidation
ferrostatins, lipoxstatins	lipid peroxidation	blocks lipid peroxidation
CoQ10, idebenone	lipid peroxidation	blocks lipid peroxidation
XJB-5-131	lipid peroxidation	nitroxide antioxidant that suppresses lipid peroxidation
deferroxamine, cyclipirox, deferiprone	iron	depletes iron and prevents iron-dependent lipid peroxidation
glutamine deprivation, glutaminolysis inhibitor	glutaminolysis	unknown
CDC, baicalein, PD-146176, AA-861, zileuton	lipoxygenases	block lipoxygenase-induced lipid peroxidation
cycloheximide	protein synthesis	suppresses ferroptosis induced by system x_c^- inhibitors
beta-mercaptoethanol	reducing agent	suppresses ferroptosis induced by system x_c^- inhibitors by reducing extracellular cystine to cysteine, bypassing system x_c^-
dopamine	neurotransmitter	blocks GPX4 degradation
selenium	selenoproteins	increases abundance of selenoproteins
vildagliptin, alogliptin, and linagliptin	DPP4	blocks DPP4-mediated lipid peroxidation

Cell. Mol. Life Sci. (2016) 73:2195–2209

Cell (2017) 171 (2), 273–285

铁死亡的研究策略

探究阶段

典型的研究目的:

确定铁死亡是否参与特定的病理过程

典型的研究策略

Step 1: 建立特定病理过程的细胞模型(或动物模型)

Step 2: 在该刺激应激下, 使用 **铁死亡特异性抑制剂或诱导剂** 处理细胞

或使用 **铁死亡相关基因干预的 (KO /敲低/过表达) 细胞** 进行测试

Step 3: 评估实验组 (例如刺激+抑制剂或刺激+诱导剂) 和对照组 (例如仅使用某种刺激) 的细胞死亡情况

方法:

- 细胞存活分析
- 铁死亡相关生化分析
- 特异性标志分子靶标分析 (WB、IHC、IF和FLOW)

铁死亡相关细胞存活分析

- Cell Counting Kit-8 (CCK-8) assay
- Calcein AM viability assay
- trypan blue assay
- Alamar Blue viability assay

铁死亡相关生化分析

- C11-BODIPY染色测定(脂质氧化水平);
- 4-HNE染色(脂质氧化水平);
- MDA测定(脂质氧化水平);
- GPX4活性测定;
- GSH测定(GSH水平);
- Phen Green SK染色分析, Iron Assay (铁离子水平);
- ROS测定;
- MitoSOX染色(线粒体ROS分析)
- 代谢酶活性测定
- 谷氨酸释放测定
- 胱氨酸摄入测定

ABclonal可提供的产品和服务

试剂

- 铁死亡相关部分生化分析试剂
- 细胞转染试剂
- 细胞培养和处理用的重组蛋白 (生长因子, 细胞因子等)
- 分子生物学试剂 (qPCR试剂, 酶等)

服务

- 基因敲除服务
- 基于细胞的检测服务

铁死亡的研究策略

验证阶段

典型的研究目的:

研究铁死亡在特定病理过程中的分子机制

典型的研究策略

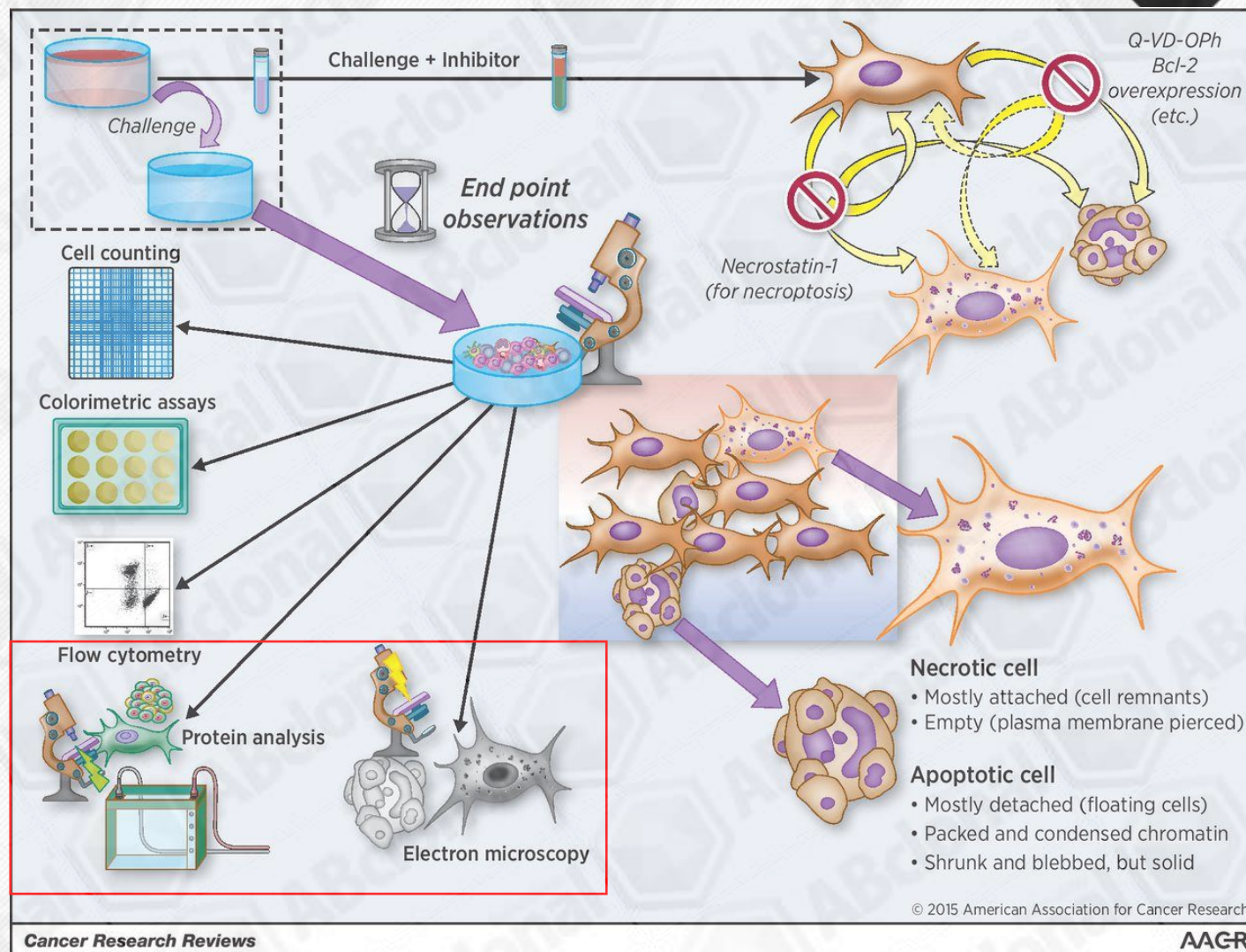
1. 靶标确定

- 基因编辑的 (KO / 敲低/过表达) 细胞或动物作为研究模型
- 高通量筛选 (siRNA库, 测序, 蛋白质组学等)

2. 靶标验证

方法:

- 基因干预(克隆, 突变等)
- qPCR检测基因表达
- WB检测蛋白表达
- Co-IP 检测蛋白互作
- IHC/IF检测蛋白分布或亚细胞定位
- 流式分析细胞表面蛋白
- ChIP 检测表观调控因子, 组蛋白/DNA/RNA修饰, 转录因子
- 铁死亡相关生化分析
- 成像技术(共聚焦显微镜, 电子显微镜)



Cancer Res. 2015 Mar 15;75(6):913-7

验证阶段

典型的研究目的:

研究铁死亡在特定病理过程中的分子机制

典型的研究策略

1. 靶标确定

- 基因编辑的 (KO / 敲低/过表达) 细胞或动物作为研究模型
- 高通量筛选 (siRNA库, 测序, 蛋白质组学等)

2. 靶标验证

方法:

- 基因干预(克隆, 突变等)
- qPCR检测基因表达
- WB检测蛋白表达
- Co-IP 检测蛋白互作
- IHC/IF检测蛋白分布或亚细胞定位
- 流式分析细胞表面蛋白
- CHIP 检测表观调控因子, 组蛋白/DNA/RNA修饰, 转录因子
- 铁死亡相关生化分析
- 成像技术(共聚焦显微镜, 电子显微镜)

ABclonal可提供的产品和服务

试剂

- NGS建库试剂盒
- 分子生物学试剂 (qPCR试剂, 酶等)
- 科研抗体和标签抗体
- 用于细胞培养和处理的重组蛋白 (生长因子, 细胞因子等)
- 基于细胞的测定 (细胞因子ELISA试剂盒)

服务

- 抗体定制服务
- 基因敲除服务
- 基于细胞的检测服务

程序性细胞死亡研究策略总结

程序性细胞死亡分类	凋亡	自噬	坏死性凋亡	焦亡	铁死亡
关键评估靶点	Caspase-3, Caspase-9, PARP, Caspase-8, Caspase-12, Caspase-2, Bcl-2, Bax, Cytochrome C, p53等	LC-3, ULK1, Beclin-1, Atg-5, Atg-12, p62, Bnip3等	RIPK1, RIPK3, MLKL等	Caspase-1, NLRP3, AIM2, ASC/TMS1, IL-1beta, IL-18, Gasdermin D等	GPX4, NRF-2, COX-2, LSH, LOXs, NOXs, SLC7A11, GSH稳态调节分子, 糖类和脂类代谢调节分子等
蛋白水平实验方法	WB, IF, FC	WB, IF, FC	WB, IF, FC	WB, IF, FC	WB, IF, FC
mRNA 水平实验方法	RT-QPCR	RT-QPCR	RT-QPCR	RT-QPCR	RT-QPCR
细胞学测定	Caspase-3 活性检测; TUNEL 检测; Annexin V/PI 双染检测; 线粒体功能检测	LC3-GFP 报告基因检测; 自噬体检测	Annexin V/PI 双染检测; 线粒体功能检测; 乳酸脱氢酶检测	Caspase-1 活性检测; 乳酸脱氢酶测定	C11-BODIPY染色测定; 4-HNE染色; MDA测定; GPX4活性测定; ROS测定; MitoSOX染色; GSH测定; Phen Green SK染色分析(铁离子水平); 代谢 酶活性测定; 谷氨酸释放测定; 胱氨酸 摄入测定
显微检测		透射电子显微镜	活细胞显微镜实时成像培养系统或透射电子显微镜	活细胞显微镜实时成像培养系统或透射电子显微镜	
抑制剂*	Z-DEVD-FMK (Caspase-3 抑制剂); Z-IETD-FMK (Caspase-8 抑制剂); Z-VDVAD-FMK (Caspase-2 抑制剂); Bax channel blocker	MRT68921 HCl(ULK1/2 抑制剂); 3-Methyladenine (Class III PI 3-kinase 抑制剂); Bafilomycin A1 (H+-ATPase 抑制剂)	Necrostatin-1, 7-Cl-O-Nec-1 (RIPK1 抑制剂); GSK'872 (RIPK3 抑制剂); Necrosulfonamide (MLKL 抑制剂)	Ac-YVAD-CMK(Caspase-1/4/5 抑制剂); INF 4E(Caspase-1 and NLRP3 inflammasome 抑制剂); Disulfiram(Gasdermin D 抑制剂)	Liproxstatin-1, Ferrostatin-1, Trolox, Glutathione, Vitamin E, D-PUFAs, BHT, BHA (脂类氧化阻断剂); DFO, CPX (铁螯合剂); Zileuton (5-LOX 抑制剂); Baicalein (5-LOX and 1-LOX 抑制剂); GKT-137831(Nox4 and Nox1 抑制剂); Ebselen (GPX mimics); Rosiglitazone, Troglitazone, Pioglitazone, Thiazolidinediones (ACSL4 抑制剂); β -mercaptoethanol (还原剂); U0126, SB202190, SP600125 (MAPK 抑制剂)
基因干预*	敲低或敲除关键靶基因; 细胞死亡自身调节剂 (例如cFLIP, XIAP, CrmA) 或细胞凋亡抑制剂 (cIAPs) 蛋白的过表达	敲低或敲除关键靶基因; 表达显性阴性突变形式的蛋白(如 ULK1)	敲低或敲除关键靶基因; 过表达cFLIP短或长异构体	敲低或敲除关键靶基因	敲低或敲除或过表达关键靶基因

*此表列出了一些常用的抑制剂和基因干预方法



03 | 铁死亡的信号通路及关键研究靶点

铁死亡的研究靶点概览

铁稳态调节

脂代谢调节

氧化还原调节

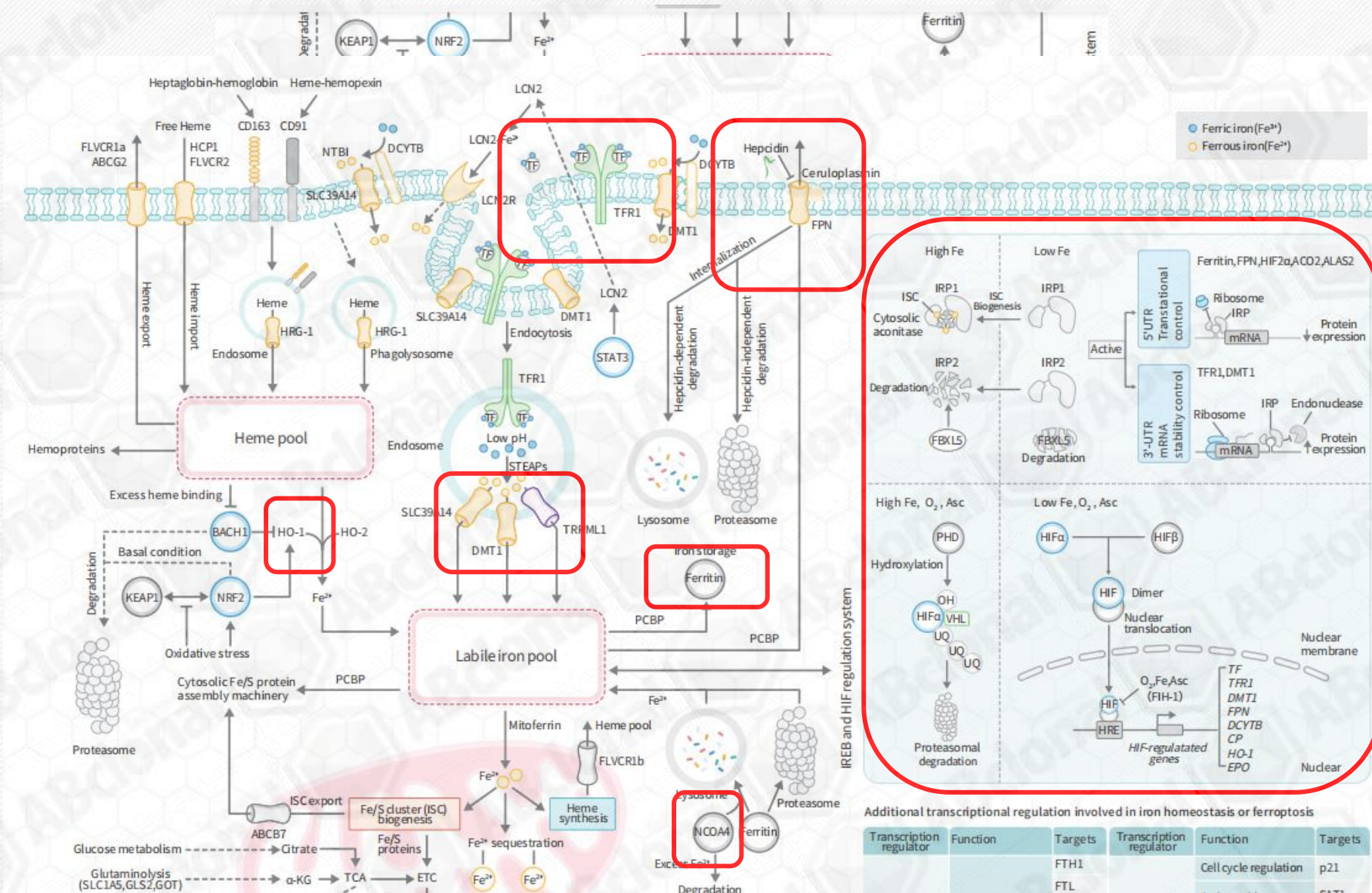
糖代谢调节

GSH 稳态调节

甲羟戊酸途径

转录因子

铁死亡的研究靶点-铁稳态调节



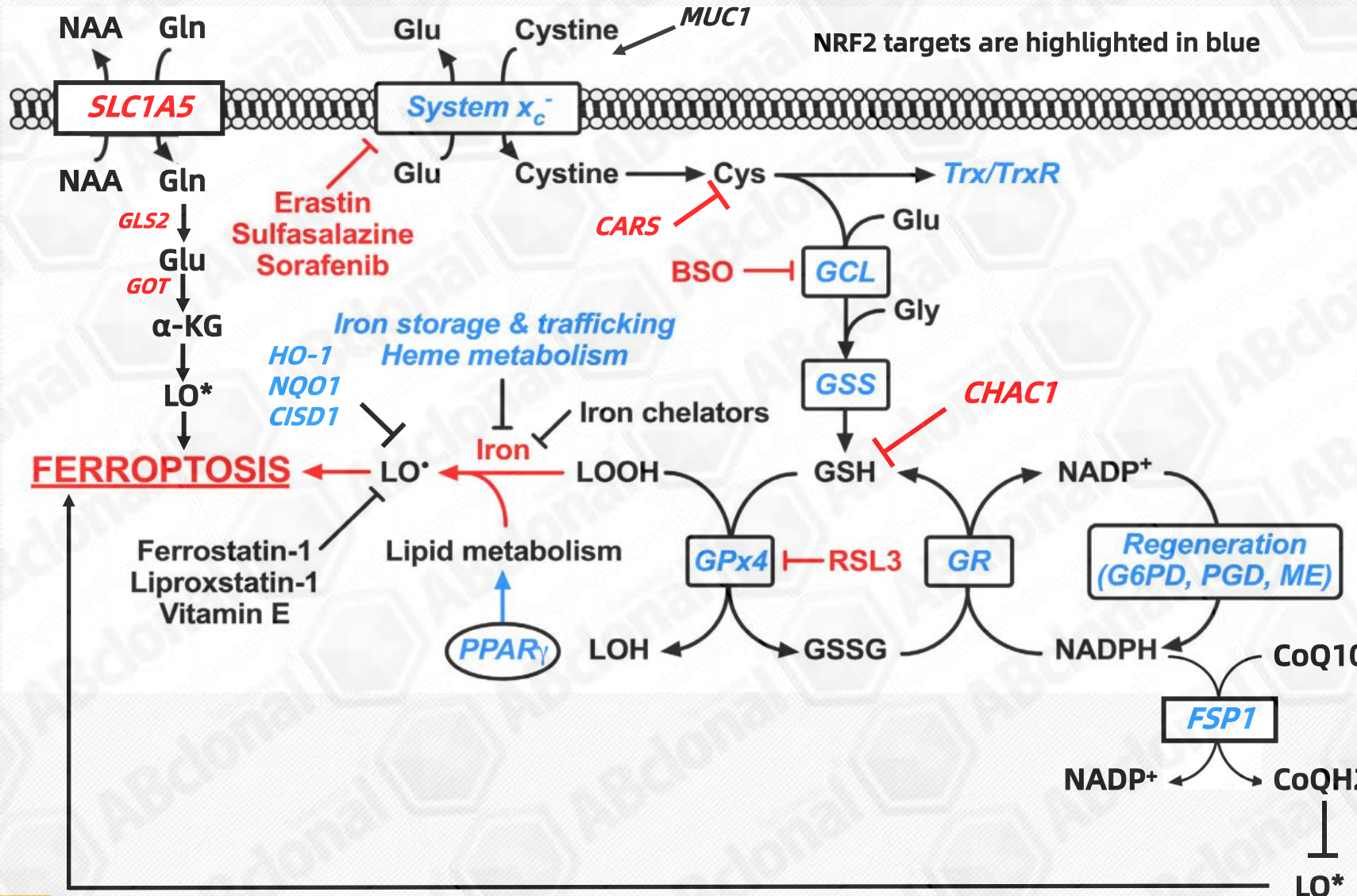
铁稳态调节

- 铁吸收**
 - Tfr1
 - Tfr2
 - DMT1
- 铁储存**
 - Ferritin
- 铁外排**
 - FPN, hepcidin
- 铁调节蛋白**
 - IRP1
 - IRP2
 - FBXL5
- 缺氧诱导因子及相关调节蛋白**
 - HIF, PHD等
- 铁自噬调节因子**
 - NCOA4
- 血红素代谢**
 - HO-1
- 热休克蛋白**
 - HSF1
 - HSBP1
 - HSPA5

Additional transcriptional regulation involved in iron homeostasis or ferroptosis

Transcription regulator	Function	Targets	Transcription regulator	Function	Targets
FTH1				Cell cycle regulation	p21
FTL					SAT1

铁死亡的研究靶点-GSH稳态与氧化还原调节



氧化还原调节

拮抗铁死亡

- NRF2
- GPX4
- FSP1
- HO-1
- NQO1
- CSD1

GSH 稳态调节

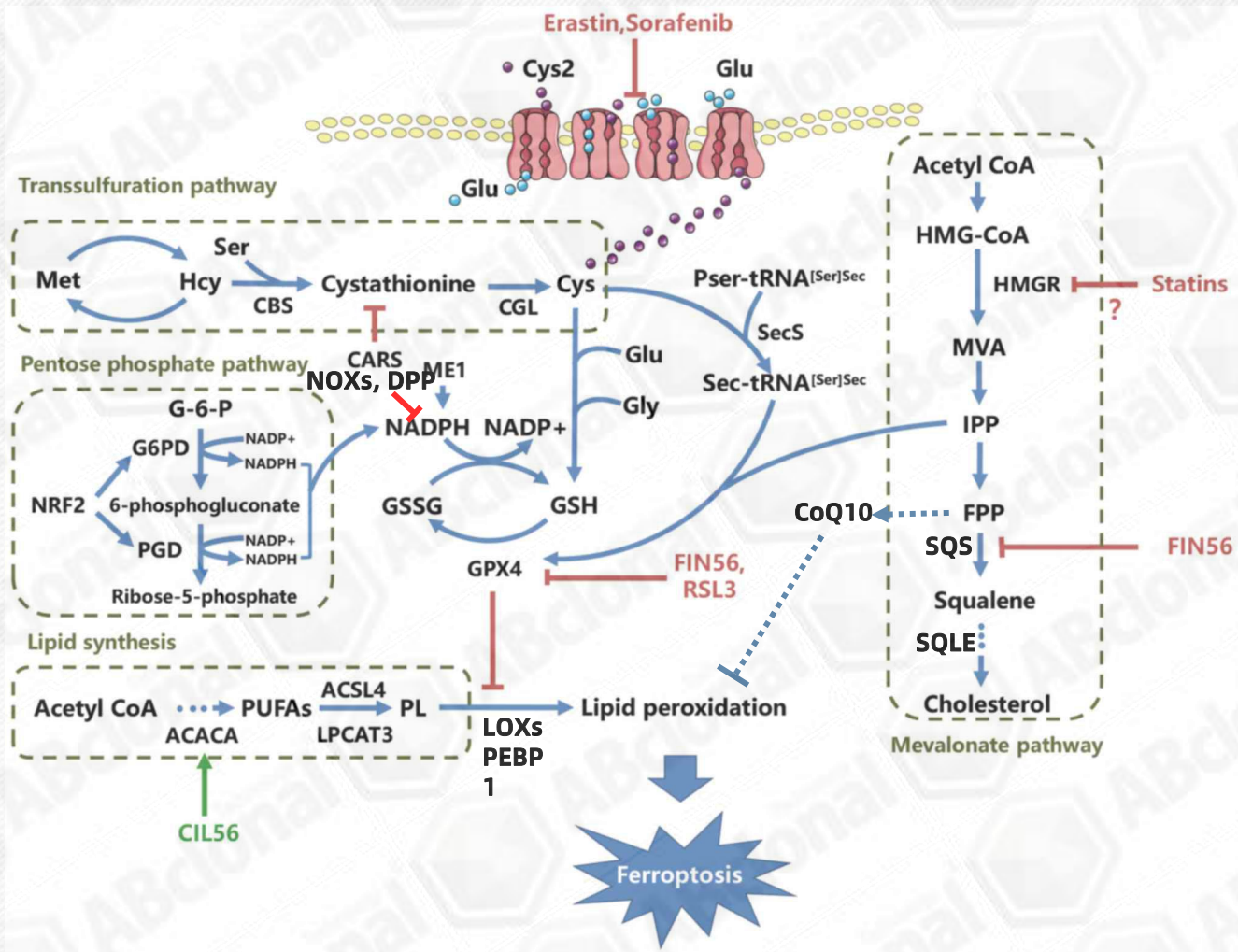
拮抗铁死亡

- SLC7A11
- MUC1
- GCLC

促铁死亡

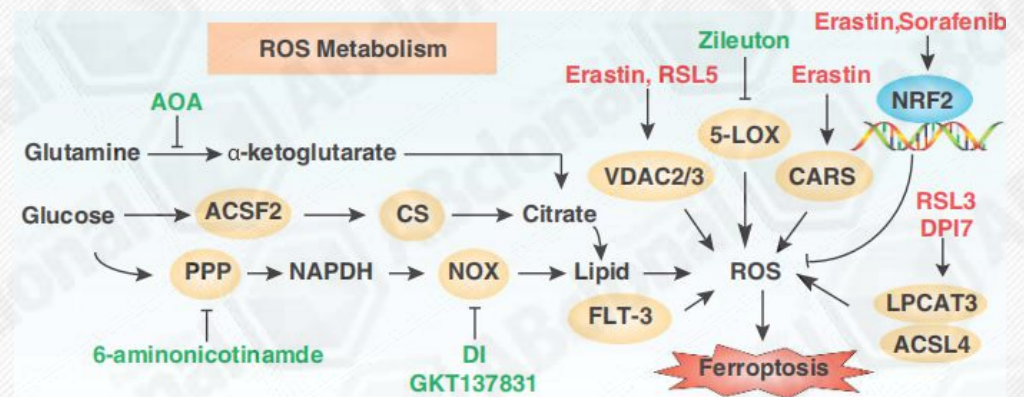
- SLC1A5
- GLS2
- CARS
- CHAC1

铁死亡的研究靶点-脂类代谢、胆固醇代谢与糖代谢



Oncol Lett. 2018 Apr;15(4):5405-5411.

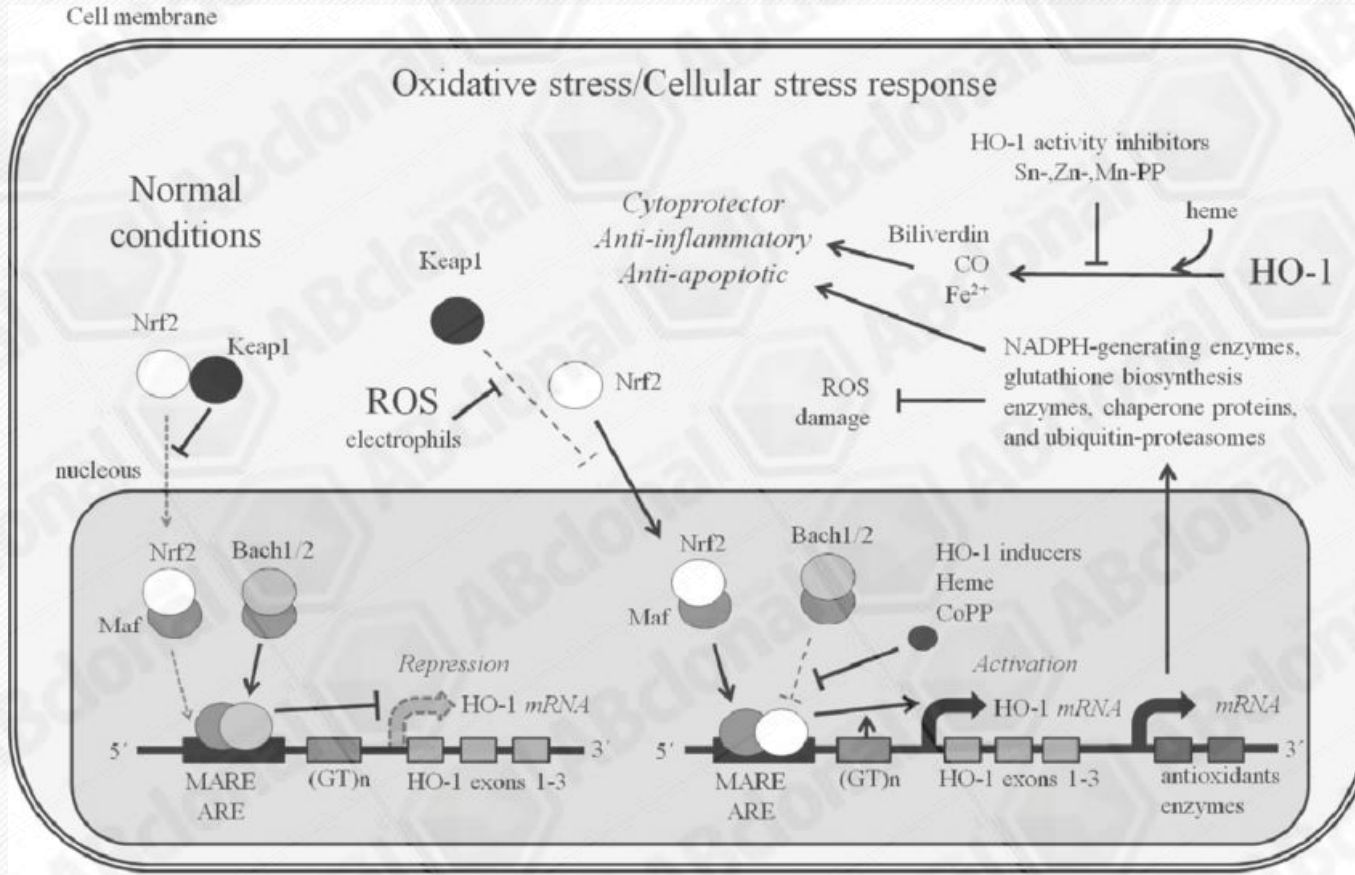
脂代谢调节	糖代谢调节	甲羟戊酸途径	氧化还原调节
拮抗铁死亡	拮抗铁死亡	拮抗铁死亡	促铁死亡
<ul style="list-style-type: none"> ➢ LSH/HELLS ➢ SCD ➢ FADS2 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ PHGDH ➢ G6PD ➢ ME1 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ HMGCR 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ LOXs ➢ PEBP1 ➢ NOXs ➢ DPP4/CD26 ➢ VDAC2/3
促铁死亡	促铁死亡	促铁死亡	
<ul style="list-style-type: none"> ➢ ACSL4 ➢ ACSL3 ➢ LPCAT3 ➢ CS 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ PHKG2 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ SQLE ➢ SQS 	



Cell Death and Differentiation (2016) 23, 369-379

铁死亡的研究靶点-转录因子

NRF2 regulation

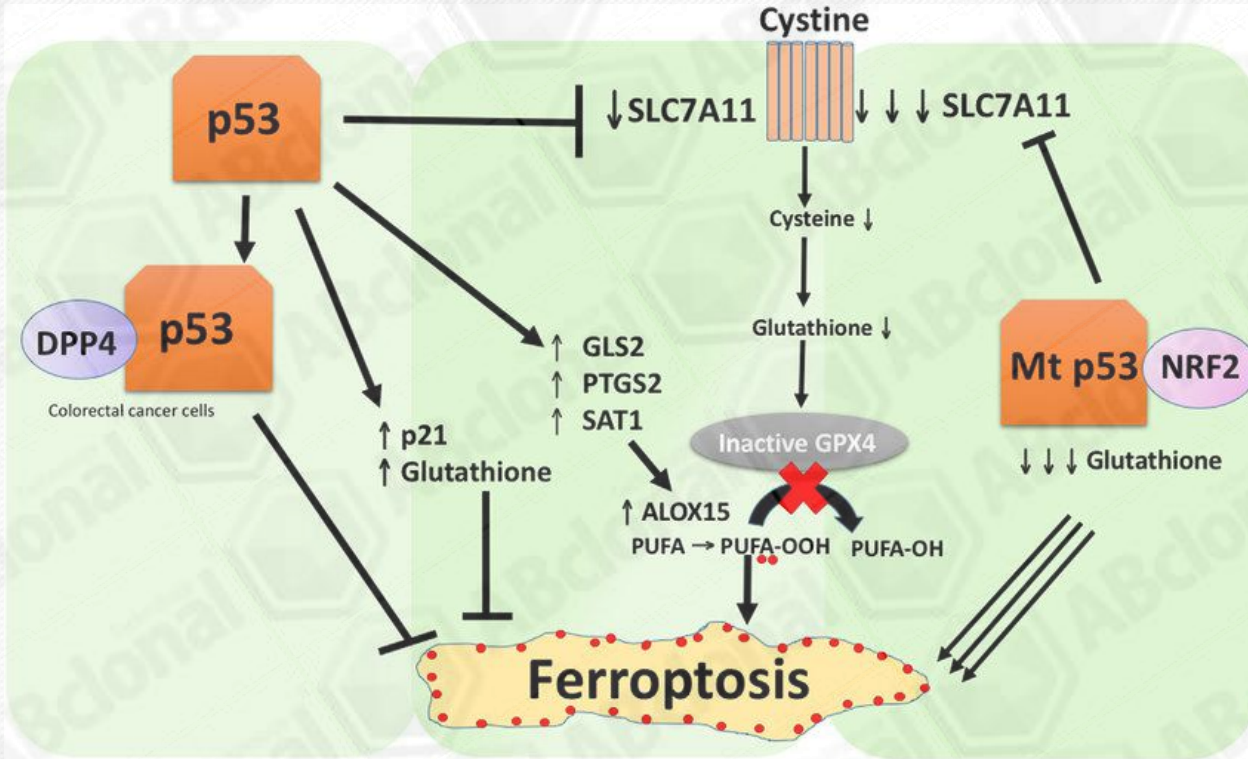


已知的和可能参与铁死亡调节的NRF2靶基因

Gene symbol	Gene name
Glutathione-related	
GCLM	Glutamate-cysteine ligase modifier subunit
GCLC	Glutamate-cysteine ligase catalytic subunit
GSS	Glutathione synthetase
SLC7A11	System x _c ⁻
GPX4	Glutathione peroxidase 4
GSR	Glutathione reductase
TXN1	Thioredoxin 1
TXNRD1	Thioredoxin reductase 1
Iron-related	
FTH1	Ferritin heavy chain 1
FTL	Ferritin light chain
TFRC	Transferrin receptor 1
FPN1 (SLC40A1)	Ferroportin
MT1G	Metallothionein 1G
HMOX1	Heme oxygenase 1
BLVRA	Biliverdin reductase A
BLVRB	Biliverdin reductase B
FECH	Ferrochelatase
ABCB6	ATP binding cassette subfamily B member 6
HRG1	Heme-response gene 1
NADPH regeneration	
G6PD	Glucose-6-phosphate dehydrogenase
PGD	Phosphogluconate dehydrogenase
ME1	Malic enzyme 1
Transcription factors	
PPARG	Peroxisome proliferator-activated receptor gamma
PPARGC1A	Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1α

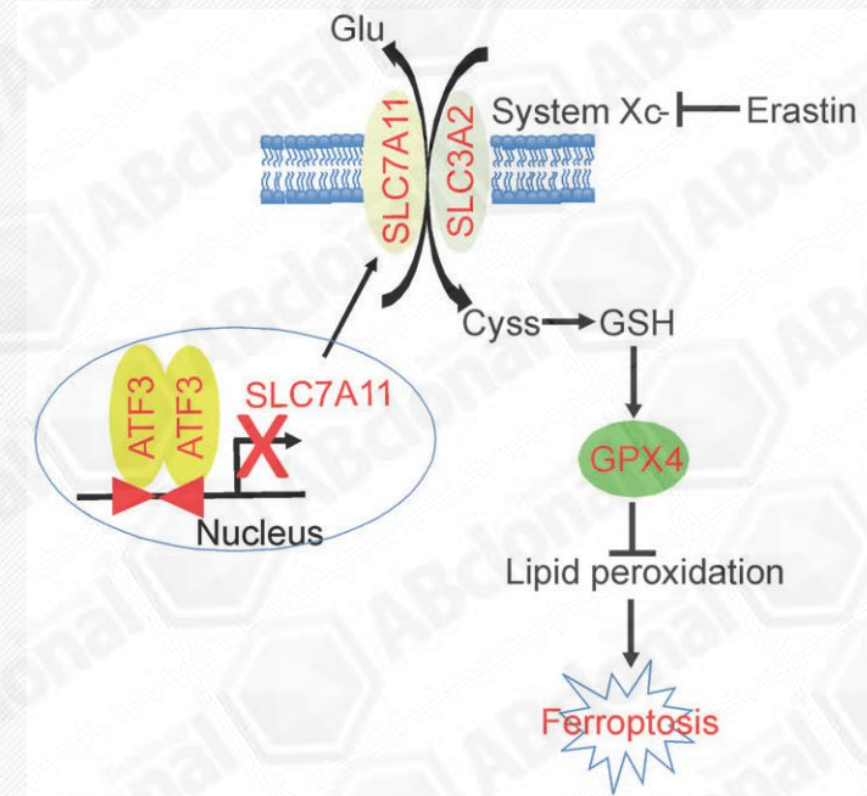
铁死亡的研究靶点-转录因子

p53



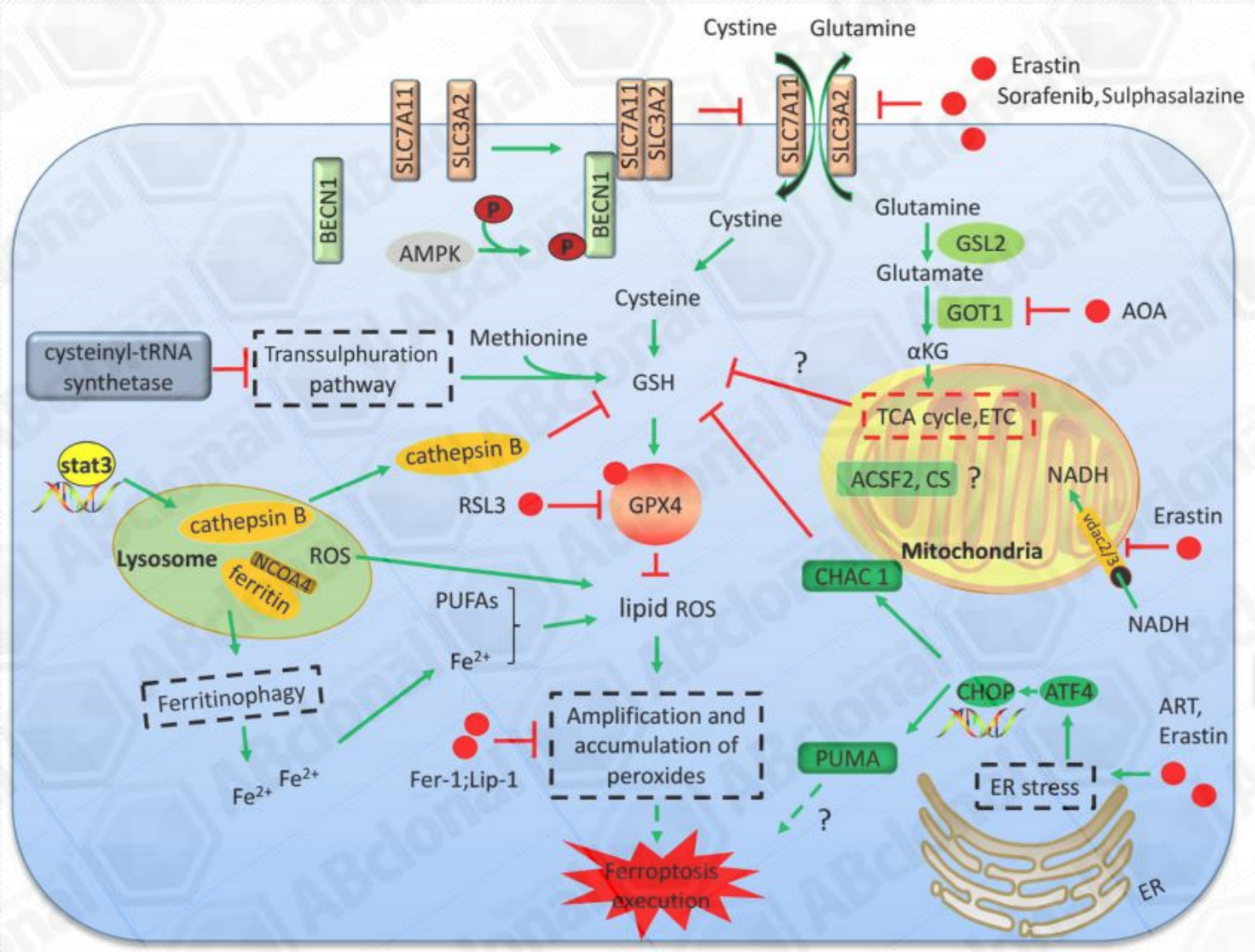
Front Endocrinol (Lausanne). 2018 Apr 11;9:124.

ATF3



Cell death and differentiation (2019)27(3):1

铁死亡的研究靶点-转录因子



STAT3

human pancreatic ductal adenocarcinoma (PDAC) cell lines

ATF4

CHOP

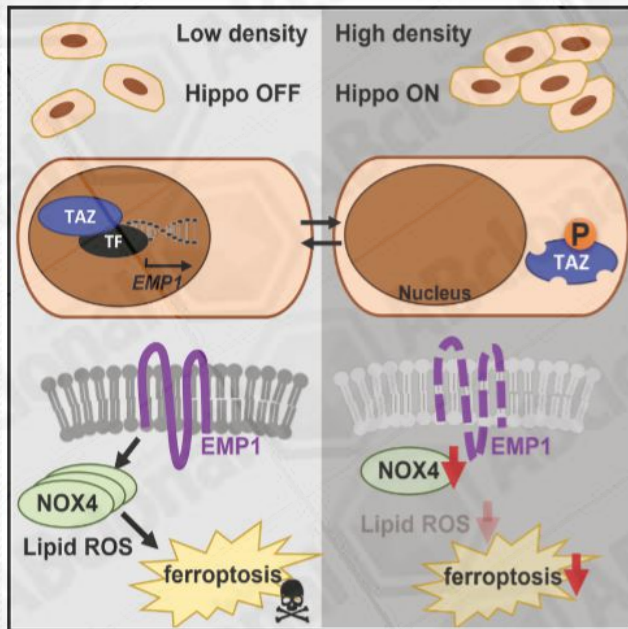
human triple negative breast cancer cells

Report

Cell Reports

The Hippo Pathway Effector TAZ Regulates Ferroptosis in Renal Cell Carcinoma

Graphical Abstract



Authors

Wen-Hsuan Yang,
Chien-Kuang Comelia Ding, Tianai Sun,
Gabrielle Rupprecht, Chao-Chieh Lin,
David Hsu, Jen-Tsan Chi

Correspondence

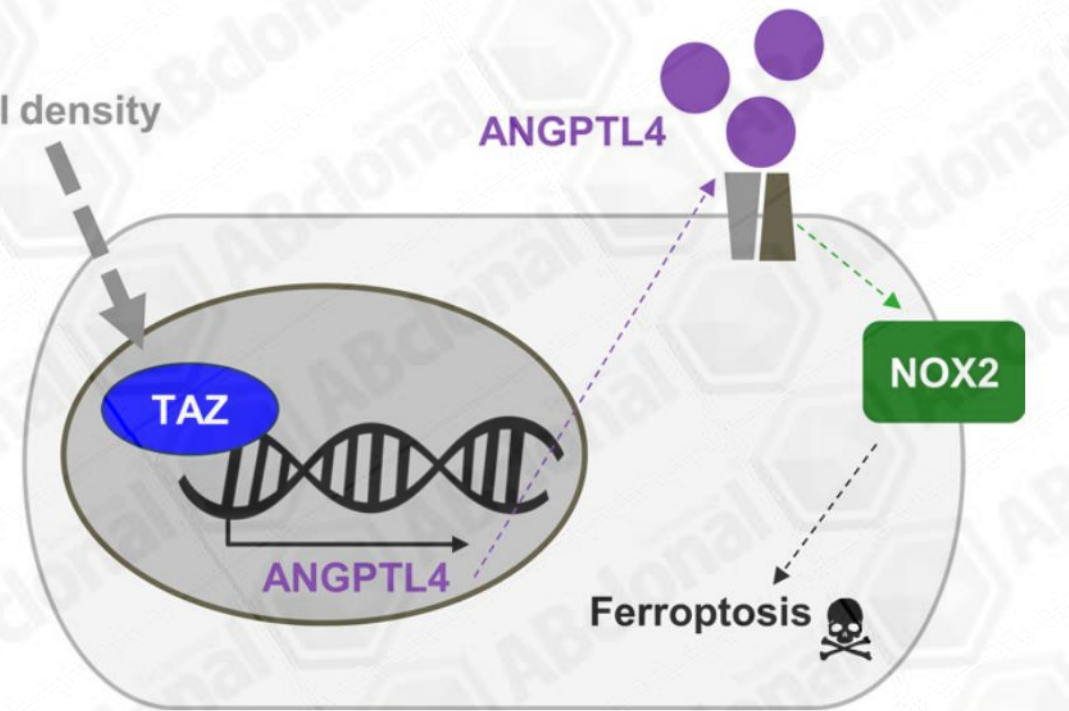
jentsan.chi@duke.edu

In Brief

Yang et al. show that ferroptosis sensitivity in renal cell carcinoma (RCC) is regulated by cell density through the TAZ-EMP1-NOX4 pathway. These findings reveal TAZ as a genetic determinant of ferroptosis in RCC. In addition, ferroptosis may hold therapeutic potential for RCC and other TAZ-activated tumors.

YAP/TAZ

Cell density

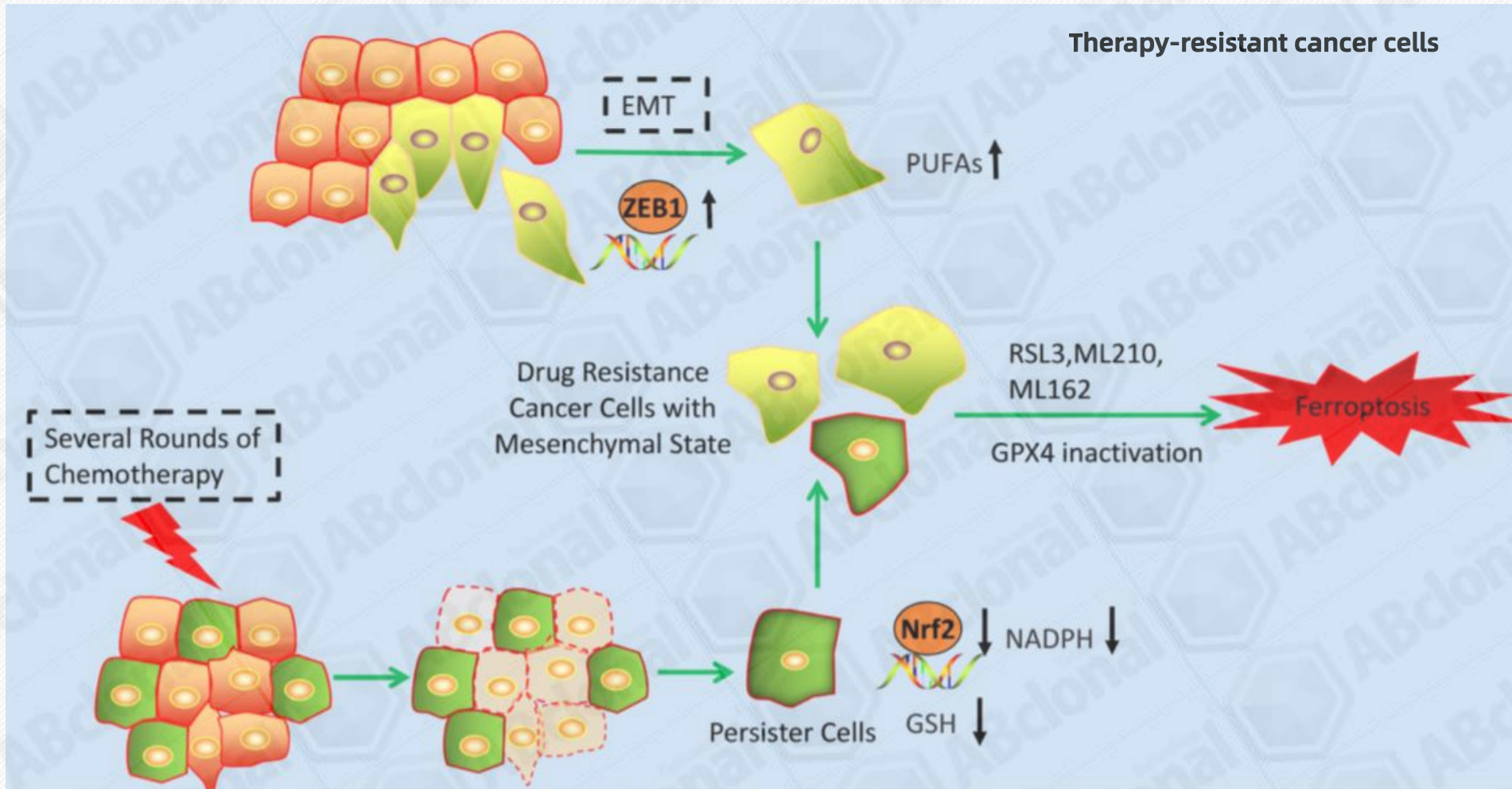


Cell Rep. 2019 Sep 3;28(10):2501-2508.

Mol Cancer Res. 2020 Jan;18(1):79-90.

铁死亡的研究靶点-转录因子

ZEB1



铁死亡的研究靶点

铁稳态调节

铁吸收和外排

- TfR1
- TfR2
- DMT1
- Hepsidin

铁储存

- Ferritin

铁调节蛋白

- IRP1
- IRP2
- FBXL5

血红素代谢

- HO-1

热休克蛋白

- HSF1
- HSBP1
- HSPA5

铁自噬调节因子

- NCOA4

氧化还原调节

拮抗铁死亡

- NRF2
- GPX4
- FSP1
- HO-1
- NQO1
- CISD1

促铁死亡

- ALOXs
- PEBP1
- NOXs
- DPP4/CD26
- VDAC2/3

GSH 稳态调节

拮抗铁死亡

- SLC7A11
- MUC1
- GCLC

促铁死亡

- SLC1A5
- GLS2
- CARS
- CHAC1

脂代谢调节

拮抗铁死亡

- LSH/HELLS
- SCD
- FADS2

促铁死亡

- ACSL4
- ACSL3
- LPCAT3
- CS

糖代谢调节

拮抗铁死亡

- PHGDH
- G6PD
- ME1

促铁死亡

- PHKG2

甲基戊酸途径

拮抗铁死亡

- HMGR

促铁死亡

- SQLE
- SQS

转录因子

- NRF2
- p53
- HIF
- BACH1
- STAT3
- ATF3
- ATF4
- CHOP
- YAP/TAZ
- ZEB1

铁死亡研究相关热卖抗体产品推荐

类别	靶点	货号	产品名称	应用	物种
铁吸收和外排	TfR1	A5865	TFRC Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	DMT1	A10231	SLC11A2 Rabbit pAb	WB	Human,Mouse,Rat
铁伴侣	PCBP1	A1044	PCBP1 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	PCBP2	A2531	PCBP2 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Zebrafish
铁储存	FTH1	A19544	Ferritin Rabbit mAb	WB	Human,Mouse,Rat
	FTL	A11241	Ferritin Light Chain mAb	WB, IHC	Human, Mouse, Rat
铁调节蛋白	PHD/EGLN1	A14557	[KO Validated] EGLN1 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	IRP1	A6008	ACO1 Rabbit pAb	WB,IHC	Mouse,Rat
	FBXL5	A5602	FBXL5 Rabbit pAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat

铁死亡研究相关热卖抗体产品推荐

分类	靶点	货号	名称	应用	物种		
拮抗铁死亡	NRF2	A11159	NRF2 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat		
	GPX4	A11243	GPX4 Rabbit mAb	WB, IHC	Human, Mouse, Rat		
	氧化还原调控	FSP1/AIFM2	A12128	AIFM2 Rabbit pAb	WB	Human	
		CISD1	A10317	CISD1 Rabbit pAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat	
		NQO1	A19586	NQO1 Rabbit mAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat	
		HO-1	A19062	Heme Oxygenase 1 Rabbit mAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat	
		GSH 稳态调节	SLC7A11	A2413	SLC7A11 / xCT Rabbit mAb	WB	Human,Mouse,Rat
			GCLC	A4499	GCLC Rabbit mAb	WB,IHC	Human,Rat
	CBS		A11612	CBS Rabbit mAb	WB,IHC	Human,Rat	
	MUC1		A19081	MUC1 Rabbit mAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat	
	CD44		A19020	[KO Validated] CD44 Rabbit mAb	WB, IHC	Human	
	ABCC1	A11153	ABCC1 Rabbit pAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat		
	热休克蛋白	HSF1	A13765	HSF1 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat	
		GRP78/BiP	A0241	GRP78/BiP Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat	
		HSPB1	A16332	[KO Validated] HSPB1 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat	
	脂代谢调节	LSH	A5831	[KO Validated] HELLS Rabbit pAb	WB,IHC,IP	Human,Mouse,Rat	
		SCD	A16429	[KO Validated] SCD Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat	
	FADS2	A10270	FADS2 Rabbit pAb	WB	Human,Mouse		
	甲羟戊酸途径	HMGCR	A19063	HMGCR Rabbit mAb	WB	Human,Mouse,Rat	
	葡萄糖代谢调节	PHGDH	A19974	[KO Validated] PHGDH Rabbit pAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat	
G6PD		A11234	G6PD Rabbit mAb	WB	Human		

铁死亡研究相关热卖抗体产品推荐

分类	靶点	货号	名称	应用	物种	
促铁死亡	氧化还原调控	ALOXs	A2158	ALOX5 Polyclonal Antibody	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
		PEBP1	A12768	PEBP1 Rabbit mAb	WB	Human, Mouse, Rat
		DPP4/CD26	A4252	CD26 Rabbit mAb	WB	Human,Mouse,Rat
		NOXs	A19701	NOX2/CYBB/gp91phox Rabbit mAb	WB	Human,Mouse,Rat
	铁自噬转运蛋白	NCOA4	A5695	[KO Validated] NCOA4 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	脂代谢调节	ACSL3	A11679	ACSL3 Rabbit pAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat
		ACSL4	A16848	ACSL4 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
		CS	A5713	CS Rabbit pAb	WB,IF	Human,Mouse,Rat
		ACACA	A15606	ACACA Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	甲羟戊酸途径	SQS/FDFT1	A4651	FDFT1 Rabbit mAb	WB	Human,Mouse,Rat
		SQLE	A2428	SQLE Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	GSH 稳态调节	SLC1A5	A6981	SLC1A5 Rabbit pAb	WB	Human
GLS2		A16029	GLS2 Rabbit pAb	WB,IF	Human,Mouse,Rat	

铁死亡研究相关热卖抗体产品推荐

类别	靶点	货号	产品名称	应用	物种
转录因子	NRF2	A11159	NRF2 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	p53	A10610	p53 Mouse mAb	WB,IHC,IF	Human
		A5761	p53 Rabbit pAb	WB,IP,IHC,CHIP	Human,Mouse,Rat
	HIF	A16873	HIF1A Rabbit pAb	WB,IHC	Human,Mouse,Rat
		A19532	HIF-1 beta Rabbit mAb	WB,IHC	Human
		A7553	HIF2a Rabbit pAb	WB,IF	Human,Mouse,Rat
	BACH1	A5393	BACH1 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	ATF3	A13469	ATF3 Rabbit pAb	WB,IF	Human,Mouse,Rat
	ATF4	A0201	ATF4 Rabbit pAb	WB,IF	Human
	CHOP	A0221	DDIT3 / CHOP Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
	STAT3	A19566	[KO Validated] STAT3 Rabbit mAb	WB	Human, Mouse, Rat
		A1192	[KO Validated] STAT3 Rabbit pAb	WB, IHC, IF	Human, Mouse, Rat
	YAP	A19134	YAP1 Rabbit mAb	WB,IHC,IF	Human
		A1002	[KO Validated] YAP1 Rabbit pAb	WB,IP,IHC,IF	Human,Mouse,Rat
TAZ	A12722	Tafazzin / TAZ Rabbit pAb	WB	Human,Mouse,Rat	
ZEB1	A5600	ZEB1 Rabbit pAb	WB,IHC,IF	Human,Mouse,Rat	

其他铁死亡研究相关试剂

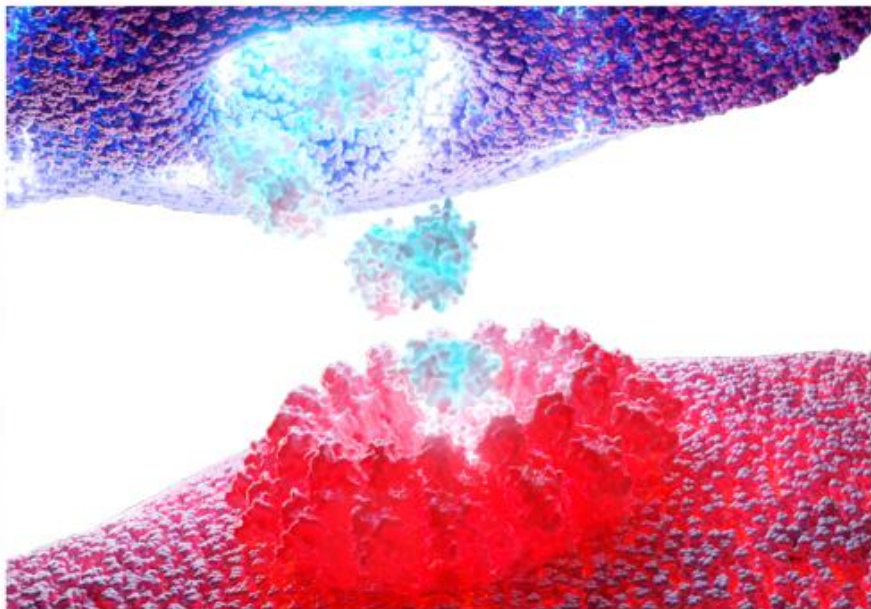
产品分类	产品货号	产品名称	用途
铁死亡抑制剂	RM02804	Ferrostatin-1 (Fer-1)	通过抑制脂质氧化抑制铁死亡, 常用铁死亡抑制剂
铁死亡抑制剂	RM02805	Liproxstatin-1	通过抑制脂质氧化抑制铁死亡, 常用铁死亡抑制剂
铁死亡抑制剂	RM02806	Liproxstatin-1 HCl	通过抑制脂质氧化抑制铁死亡, 常用铁死亡抑制剂
铁死亡抑制剂	RM02807	Deferoxamine mesylate	通过抑制脂质氧化抑制铁死亡
铁死亡抑制剂	RM02808	Zileuton	5-脂氧合酶 (5-LOX) 抑制剂
铁死亡抑制剂	RM02809	BHT	通过抑制脂质氧化抑制铁死亡
生化分析试剂	RM02821	C11 BODIPY 581/591 脂质过氧化荧光探针	脂质过氧化测定
生化分析试剂	RM02822	MitoSOX Red Mitochondrial Superoxide Indicator 线粒体超氧化物红色荧光探针	线粒体超氧化物测定
生化分析试剂	RM02823	CCK-8试剂盒	细胞存活测定

程序性细胞死亡研究专题

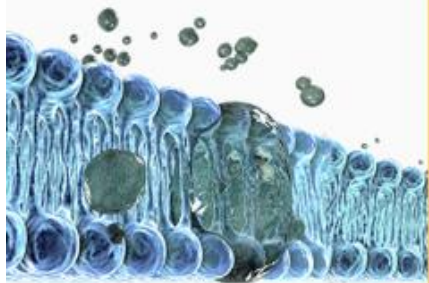
PROGRAMMED CELL DEATH SPECIAL TOPICS

程序性细胞死亡 (Programmed Cell Death, PCD) 是由细胞内特定基因调控的分子程序介导的细胞死亡过程, 在多细胞生物的正常发育过程和体内稳态维持中发挥至关重要的作用。迄今为止, 已经有至少五种主要的 PCD 被发现和深入研究, 包括凋亡 (Apoptosis), 自噬 (Autophagy) 或自噬性细胞死亡 (Autophagic Cell Death), 坏死性凋亡 (Necroptosis)、焦亡 (Pyroptosis) 和近年来逐渐兴起的铁死亡 (Ferroptosis)。不同形式的 PCD 可以通过其独特的形态、生化 and 分子特征来区分。并且, 不同形式的 PCD 所涉及的关键基因大多是进化保守的, 其中一些效应分子往往作为 PCD 的特异性评价指标, 与形态学和生化检测方法一起用于检测和分析不同 PCD 过程。为了验证某种 PCD 是否参与某种病理过程及研究其具体的分子机制, 针对关键靶点的多种抑制剂和基因操作策略也被广泛使用 (详见表 1)。

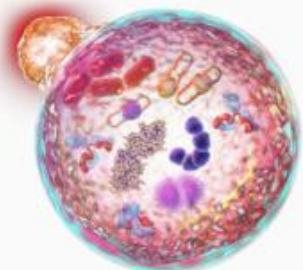
[观看相关视频](#)



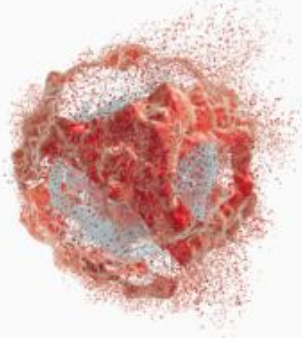
铁死亡经典信号通路
FERROPTOSIS



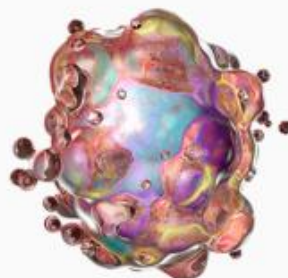
自噬经典信号通路
AUTOPHAGY



凋亡经典信号通路
APOPTOSIS



坏死性凋亡经典信号通路
NECROPTOSIS



焦亡经典信号通路
PYROPTOSIS

