



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107693776 A

(43)申请公布日 2018.02.16

(21)申请号 201711069457.8

A61P 7/06(2006.01)

(22)申请日 2012.10.17

A61P 43/00(2006.01)

(30)优先权数据

61/547932 2011.10.17 US

(62)分案原申请数据

201280061672.2 2012.10.17

(71)申请人 阿塞勒隆制药公司

地址 美国麻萨诸塞州

(72)发明人 J.斯拉 R.S.皮萨尔 R.库马

N.V.S.R.苏拉加尼

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 李波 黄希贵

(51)Int.Cl.

A61K 38/17(2006.01)

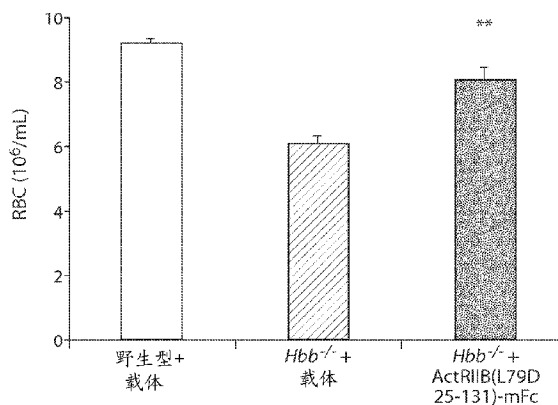
权利要求书1页 说明书58页 附图28页

(54)发明名称

用于治疗无效性红细胞生成的方法和组合物

(57)摘要

本发明涉及用于治疗无效性红细胞生成的方法和组合物。具体地,本发明提供用于治疗患者中的无效性红细胞生成的方法,所述方法包括向患者施用与SEQ ID NO. 1的氨基酸109的序列至少90%相同的ActRIIB多肽,其中所述多肽在位置79包含酸性氨基酸。



1. 用于治疗患者中的骨髓纤维化的药物组合物,所述组合物包含多肽,所述多肽包含与SEQ ID NO:1的氨基酸29-109的序列至少90%相同的氨基酸序列,其中所述多肽在相应于SEQ ID NO:1的位置79的位置处包含酸性氨基酸。

2. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含与SEQ ID NO:1的氨基酸29-109的序列至少95%相同的氨基酸序列。

3. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含与SEQ ID NO:1的氨基酸29-109的序列至少98%相同的氨基酸序列。

4. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含与SEQ ID NO:1的氨基酸29-109的序列相同的氨基酸序列,但其中所述多肽在相应于SEQ ID NO:1的位置79的位置处包含酸性氨基酸。

5. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含与SEQ ID NO:1的氨基酸25-131的序列至少90%相同的氨基酸序列。

6. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含与SEQ ID NO:1的氨基酸25-131的序列至少95%相同的氨基酸序列。

7. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含SEQ ID NO:1的氨基酸25-131的序列,但其中所述多肽在相应于SEQ ID NO:1的位置79的位置处包含酸性氨基酸。

8. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含与SEQ ID NO:28的氨基酸序列至少90%相同的氨基酸序列。

9. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含与SEQ ID NO:28的氨基酸序列至少95%相同的氨基酸序列。

10. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽包含SEQ ID NO:28的氨基酸序列。

11. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽由SEQ ID NO:28的氨基酸序列组成。

12. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽与GDF11结合。

13. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽与GDF8结合。

14. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽与GDF11和GDF8结合。

15. 权利要求1的药物组合物,其中所述酸性氨基酸是天冬氨酸(D)。

16. 权利要求1的药物组合物,其中所述酸性氨基酸是谷氨酸(E)。

17. 权利要求1的药物组合物,其中所述多肽是皮下施用。

18. 权利要求1的药物组合物,其中所述患者患有脾大,并且其中所述药物组合物治疗所述患者中的脾大。

19. 权利要求1的药物组合物,其中所述患者患有髓外红细胞生成,并且其中所述药物组合物减少所述患者中的髓外红细胞生成。

20. 权利要求1的药物组合物,其中所述患者患有贫血,并且其中所述药物组合物治疗所述患者中的贫血。

用于治疗无效性红细胞生成的方法和组合物

[0001] 本申请是申请日为2012年10月17日的中国专利申请201280061672.2“用于治疗无效性红细胞生成的方法和组合物”的分案申请。

[0002] 交叉引用相关申请

本申请要求2011年10月17日提交的美国临时申请系列号61/547,932的权益。上述引用申请的所有教导都通过引用并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明涉及无效性红细胞生成治疗领域。更具体涉及用于治疗患者中的无效性红细胞生成的方法和组合物,所述方法包括向患者施用与SEQ ID NO. 1的氨基酸109的序列至少90%相同的ActRIIB多肽,其中所述多肽在位置79包含酸性氨基酸。

背景技术

[0004]

成熟的红细胞或红血球负责脊椎动物循环系统中的氧运输。红细胞包含高浓度的血红蛋白,血红蛋白是一种蛋白,其在相对高的氧分压(pO_2)下在肺中与氧结合,并将氧递送至具有相对低 pO_2 的身体区域。

[0005] 成熟的红细胞在称为红细胞生成的过程中由多能造血干细胞产生。出生后红细胞生成主要在骨髓和脾的红髓中进行。各种信号传导途径的协同作用控制细胞增殖、分化、存活和死亡的平衡。在正常条件下,红细胞以维持体内恒定的红细胞量的速率生成,且响应于各种刺激(包括上升或下降的氧张力或组织需求)可增加或减少其生成。红细胞生成的过程开始于谱系定向的前体细胞的形成,并通过一系列的不同前体细胞类型进行。红细胞生成的最终阶段出现为网织红细胞,其释放进入血流,并失去它们的线粒体和核糖体,同时呈现成熟红细胞的形态。在血液中网织红细胞的上升水平或者网织红细胞:红细胞的上升比例提示红细胞产生速率上升。

[0006] 促红细胞生成素(EPO)被广泛认为是脊椎动物中出生后红细胞生成的最重要的正调节剂。EPO调节对减少的组织氧张力(低氧)和低红细胞水平或低血红蛋白水平的代偿性红细胞生成应答。在人中,上升的EPO水平通过刺激骨髓和脾中红细胞系祖细胞的生成而促进红细胞形成。在小鼠中,EPO主要增加脾中的红细胞生成。

[0007] EPO的效果由属于细胞因子受体超家族的细胞表面受体介导。人EPO受体基因编码483个氨基酸的跨膜蛋白质,而活性EPO受体被认为作为多聚复合物存在,甚至在不存在配体的情况下(参见美国专利号6,319,499)。哺乳动物细胞中表达的克隆的全长EPO受体以与天然受体在红细胞系祖细胞上的亲和力类似的亲和力与EPO结合。EPO与其受体的结合引起构象变化,导致受体激活和生物学效果,包括不成熟成红血细胞的增加的增殖、不成熟成红血细胞的增加的分化和红细胞系祖细胞中降低的凋亡(Liboi等人,1993, Proc Natl Acad Sci USA 90:11351-11355; Koury等人,1990, Science 248:378-381)。

[0008] 医生们在各种临床情况下采用各种形式的重组EPO来增加红细胞水平,并特别用

于贫血的治疗。贫血是一种宽泛限定的状况,其特征在于血液中的血红蛋白或红细胞低于正常水平。在一些情况下,贫血是由红细胞的生成或存活中的原发性病症所引起的。更通常地,贫血继发于其它系统的疾病(Weatherall & Provan (2000) Lancet 355, 1169-1175)。贫血可由红细胞生成速率下降或破坏速率上升导致,或者由因出血引起的红细胞丧失导致。贫血可由多种病症引起,所述病症包括,例如,慢性肾功能衰竭、化学疗法治疗、骨髓异常增生综合征、类风湿关节炎以及骨髓移植。

[0009] 以EPO治疗通常导致健康人在数周时间中血红蛋白上升约1-3 g/dL。当施用至贫血个体时,该治疗方案通常提供血红蛋白和红细胞水平的实质上升,并使得生活质量改善和存活延长。EPO并非一律有效,许多个体甚至在高剂量下是难治的(Horl等人 (2000) Nephrol Dial Transplant 15, 43-50)。50%以上的癌症患者对EPO的反应不足,大约10%的末期肾疾病患者具有低反应性(Glaspy等人(1997) J Clin Oncol 15, 1218-1234; Demetri等人(1998) J Clin Oncol 16, 3412-3425),以及不到10%的骨髓异常增生综合征患者有利地反应(Estey (2003) Curr Opin Hematol 10, 60-67)。一些因素,包括炎症、铁和维生素缺乏、透析不充分、铝毒性以及甲状旁腺功能亢进可预测较差的治疗反应。对EPO抵抗的分子机制仍然不清楚。近来的证据提出,较高剂量的EPO可与心血管发病率的增加风险、肿瘤生长和某些患者群体中的死亡率有关(Krapf等人, 2009, Clin J Am Soc Nephrol 4:470-480; Glaspy, 2009, Annu Rev Med 60:181-192)。因此已建议,基于EPO的治疗化合物(促红细胞生成素-刺激剂,ESAs)以足以避免对红细胞输注的需求的最低剂量施用(Jelkmann等人, 2008, Crit Rev Oncol. Hematol 67:39-61)。

[0010] 无效性红细胞生成是用来描述一组红细胞系病症的术语,其中红细胞产生降低,尽管在红细胞生成的更早期增加(参见,例如,Tanno, 2010, Adv Hematol 2010:358283)。无效性红细胞生成经常引起贫血,促红细胞生成素水平升高,过量红细胞前体的形成和铁超负荷。这些现象可以进而导致脾大、肝脏和心脏病症和骨损伤以及其它并发症。因为患有无效性红细胞生成的患者中内源性促红细胞生成素水平通常非常高,所以基于EPO的治疗剂经常无法治疗这些患者中的贫血或可以引起疾病其它方面(诸如脾大和铁超负荷)的恶化。

[0011] 因此,本公开内容的一个目的是提供用于提高红细胞水平和/或解决无效性红细胞生成的背景下其它病症的替代性方法。

发明内容

[0012]

部分地,本公开内容证明GDF捕获物(Trap)可用于治疗无效性红细胞生成和与无效性红细胞生成相关的病症和症状,包括但不限于,贫血、脾大、铁超负荷、细胞过多骨髓、内源性促红细胞生成素水平升高和骨损伤。特别地,本公开内容证明,在SEQ ID NO:1的位置79具有酸性残基的ActRIIB多肽的可溶形式的GDF捕获物,当在体内施用增加正常、健康的受试者以及贫血和无效性红细胞生成的动物模型中血液中的红细胞水平。令人惊讶的是,除了直接提高红细胞水平,所公开的分子改善与无效性红细胞生成相关的其它症状,包括脾大、铁超负荷和骨损伤。在一些情况下,这些相关病症对于患者健康和生活质量的重要性与贫血状况相同或更重要。因此,在某些实施方案中,本公开内容提供使用GDF捕获物增加

患者中红细胞和血红蛋白水平和治疗与需要其的患者中低红细胞水平有关的病症的方法。特别地,本公开内容提供了使用GDF捕获物多肽来治疗由无效性红细胞生成病症产生的并发症(包括严重并发症诸如贫血、组织铁超负荷、髓外红细胞生成、成红血细胞诱导的骨病变(erythroblast-induced bone pathology)和促红细胞生成素水平的不当升高)的方法。在此类病症中,GDF捕获物可以用来提高红细胞水平,同时降低对红细胞输注和铁螯合治疗的需要,并且由此降低与脆弱组织中铁聚集相关的发病率和死亡率。部分地,GDF捕获物可以与现有的无效性红细胞生成的支持性治疗,包括红细胞的输注和铁螯合治疗组合使用。GDF捕获物也可以与铁调素激动剂组合使用来治疗无效性红细胞生成。如通过引用并入本文的美国专利申请号12/012,652所述,GDF捕获物还可以用于增加肌肉量和降低脂肪量。

[0013] 在某些方面,本公开内容提供为变体ActRIIB多肽的GDF捕获物,包括具有氨基和羧基端截短和序列变化的ActRIIB多肽。任选地,本发明的GDF捕获物可设计为优先拮抗ActRIIB受体的一种或多种配体,诸如GDF8(也称为筒箭毒碱)、GDF11、Nodal和BMP7(也称为OP-1)。GDF捕获物的实例包括衍生自ActRIIB的一组变体,其具有大大减少的对激活素的亲和力。这些变体展示对红细胞的期望的效果,同时降低对其它组织的效果。这种变体的实例包括在相应于SEQ ID NO.1的位置79的位置具有酸性氨基酸(例如,天冬氨酸D或谷氨酸E)的那些。在某些实施方案中,GDF捕获物多肽包含下列氨基酸序列,其包含SEQ ID NO:7、26、28、29、32、37或38的氨基酸序列和与前述任一具有至少80%、85%、90%、95%、97%、98%或99%同一性的多肽,由SEQ ID NO:7、26、28、29、32、37或38的氨基酸序列和与前述任一具有至少80%、85%、90%、95%、97%、98%或99%同一性的多肽组成,或基本上由SEQ ID NO:7、26、28、29、32、37或38的氨基酸序列和与前述任一具有至少80%、85%、90%、95%、97%、98%或99%同一性的多肽组成。

[0014] 在某些方面,本公开内容提供药物制剂,其包含与ActRIIB配体诸如GDF8、GDF11、激活素(例如激活素B)、BMP7或nodal结合的GDF捕获物,和药学上可接受的载体。任选地,GDF捕获物与ActRIIB配体以低于10微摩尔、低于1微摩尔、低于100纳摩尔、低于10纳摩尔或低于1纳摩尔的Kd结合。任选地,GDF捕获物抑制ActRIIB信号传导,诸如ActRIIB配体触发的细胞内信号转导事件。用于这种制剂的GDF捕获物可为本文公开的那些中的任一,包括例如,具有选自SEQ ID NOs:2、3、7、11、26、28、29、32、37、38或40的氨基酸序列的GDF捕获物,或具有与选自SEQ ID NOs:2、3、7、11、26、28、29、32、37、38或40的氨基酸序列有至少80%、85%、90%、95%、97%或99%同一性的氨基酸序列的GDF捕获物,或具有与选自SEQ ID NOs:2、3、7、11、26、28、29、32、37、38或40的氨基酸序列有至少80%、85%、90%、95%、97%或99%同一性的氨基酸序列的GDF捕获物,其中相应于SEQ ID NO:1中L79的位置是酸性氨基酸。用于这种制剂的优选的GDF捕获物由SEQ ID NO:26的氨基酸序列组成或基本上由SEQ ID NO:26的氨基酸序列组成。GDF捕获物可包含天然ActRIIB多肽的功能片段,诸如包含选自SEQ ID NOs:2、3、7、11、26、28、29、32、37、38或40的序列的至少10、20或30个氨基酸的片段,或SEQ ID NO:2的序列,缺乏C-末端1、2、3、4、5或10至15个氨基酸和缺乏N-末端的1、2、3、4或5个氨基酸。优选的多肽将包含相对于SEQ ID NO:2或40的N-末端2至5个氨基酸和C-末端不超过3个氨基酸的截短。GDF捕获物可包括相对于天然存在的ActRIIB多肽在ActRIIB多肽的氨基酸序列中的一个或多个变化(例如,在配体结合结构域中)。氨基酸序列中的改变可以例如,当在哺乳动物、昆虫或其它真核细胞中产生时改变多肽的糖基化,或者相对于天然存在的

ActRIIB多肽改变多肽的蛋白酶切割。

[0015] GDF捕获物可以是融合蛋白,其具有作为一个结构域的ActRIIB多肽(例如,具有一个或多个序列变异的ActRIIB的配体结合结构域)和提供理想特性(诸如改善的药代动力学、更容易的纯化、对特定组织的靶向等)的一个或多个其它结构域。例如,融合蛋白的结构域可增强以下一项或多项:体内稳定性、体内半衰期、摄取/施用、组织定位或分布、蛋白复合物的形成、融合蛋白的多聚化和/或纯化。GDF捕获物融合蛋白可包含免疫球蛋白Fc结构域(野生型或突变体)或血清白蛋白。在某些实施方案中,GDF捕获物融合体包含位于Fc结构域和胞外ActRIIB结构域之间的相对非结构化的接头。该非结构化的接头可相应于ActRIIB胞外结构域C-末端(“尾”)处的大约15个氨基酸的非结构区,或其可以是相对无二级结构的3至5、15、20、30、50或更多氨基酸的人工序列。接头可富含甘氨酸和脯氨酸残基,并可以例如含有苏氨酸/丝氨酸和甘氨酸的重复序列(例如,TG₄(SEQ ID NO:13)或SG₄(SEQ ID NO:14)单序列(singlets)或重复序列(repeats))或一系列3个甘氨酸。融合蛋白可包括纯化子序列,诸如表位标记、FLAG标记、聚组氨酸序列和GST融合体。在某些实施方案中,GDF捕获物融合体包含前导序列。前导序列可为天然ActRIIB前导序列或异源性前导序列。在某些实施方案中,前导序列是组织型纤溶酶原激活剂(TPA)前导序列。在一个实施方案中,GDF捕获物融合蛋白包含如式A-B-C中列出的氨基酸序列。B部分是N-和C-末端截短的ActRIIB多肽,其由相应于SEQ ID NO:2或40的氨基酸25-131的氨基酸序列组成。A和C部分可独立为0个、一个或多于一个氨基酸,并且A和C部分都是与B异源的。A和/或C部分可与B部分经由接头序列连接。

[0016] 任选地,GDF捕获物包含具有选自如下的一种或多种修饰的氨基酸残基的变体ActRIIB多肽:糖基化氨基酸、聚乙二醇化氨基酸、法尼基化氨基酸、乙酰化氨基酸、生物素化氨基酸、与脂质部分缀合的氨基酸以及与有机衍生剂缀合的氨基酸。药物制剂还可包含一种或多种额外化合物,诸如用于治疗ActRIIB-相关病症的化合物。优选地,药物制剂基本不含致热原。一般而言,优选在哺乳动物细胞系中表达GDF捕获物,这合适地介导GDF捕获物的天然糖基化,从而减少患者中的不利免疫应答的可能性。人和CHO细胞系已被成功使用,且预期其它常见的哺乳动物表达载体将是有益的。

[0017] 在某些方面,本公开内容提供包装药物,其包含本文描述且标签用于增加人中红细胞水平的药物制剂。

[0018] 在某些方面,本公开内容提供GDF捕获物,其为包含改变的配体-结合(例如,GDF8-结合)结构域的可溶性ActRIIB多肽。具有改变的配体-结合结构域的GDF捕获物可包括例如,在人ActRIIB氨基酸残基诸如E37、E39、R40、K55、R56、Y60、A64、K74、W78、L79、D80、F82和F101的一个或多个突变(编号相对于SEQ ID NO:1)。任选地,改变的配体-结合结构域相对于ActRIIB受体的野生型配体-结合结构域可以具有对配体诸如GDF8/GDF11增加的选择性。为了举例说明,本文说明这些突变增加改变的配体-结合结构域相比于激活素对GDF11(并且因此,推测地,GDF8)的选择性:K74Y、K74F、K74I、L79D、L79E和D80I。下列突变具有相反效果,增加激活素结合相比于GDF11的比例:D54A、K55A、L79A和F82A。总体(GDF11和激活素)结合活性可以通过包含“尾部”区域或推测地非结构化的接头区域,以及也通过使用K74A突变而增加。引起配体结合亲和力的总体降低的其它突变包括:R40A、E37A、R56A、W78A、D80K、D80R、D80A、D80G、D80F、D80M和D80N。突变可组合以实现期望的效果。例如,影响GDF11:激活

素结合比的许多突变对配体结合具有总体负面效果,并且因此,这些可与一般增加配体结合的突变组合以产生具有配体选择性的改进的结合蛋白质。在示例性实施方案中,GDF捕获物是包含L79D或L79E突变的ActRIIB多肽,任选地组合额外的氨基酸取代、添加或缺失。

[0019] 任选地,包含改变的配体-结合结构域的GDF捕获物具有的用于激活素结合的 K_d 与用于GDF8结合的 K_d 的比相对于野生型配体-结合结构域的比为至少2、5、10或甚至100倍高。任选地,包含改变的配体-结合结构域的GDF捕获物具有的用于抑制激活素的 IC_{50} 与用于抑制GDF8/GDF11的 IC_{50} 的比相对于野生型ActRIIB配体-结合结构域为至少2、5、10或甚至100倍高。任选地,包含改变的配体-结合结构域的GDF捕获物以与用于抑制激活素的 IC_{50} 相比至少2、5、10或甚至100倍低的 IC_{50} 抑制GDF8/GDF11。这些GDF捕获物可以是包括免疫球蛋白Fc结构域(野生型或突变体)的融合蛋白。在某些情况下,主题可溶性GDF捕获物是GDF8和/或GDF11的拮抗剂(抑制剂)。

[0020] 考虑其它GDF捕获物,诸如以下。包含衍生自SEQ ID NO: 1或39的ActRIIB序列的部分和第二多肽部分的GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸21-29中的任一(任选地起始于SEQ ID NO: 1或39的22-25)和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸109-134中的任一的序列,并且其中在基于细胞的测定中GDF捕获物融合蛋白抑制通过激活素、筒箭毒碱和/或GDF11的信号传导。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸20-29中的任一(任选地起始于SEQ ID NO: 1或39的22-25)和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸109-133中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸20-24中的任一(任选地起始于SEQ ID NO: 1或39的22-25)和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸109-133中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸21-24中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸109-134中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸20-24中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸118-133中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸21-24中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸118-134中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸20-24中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸128-133中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸20-24中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸128-133中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸21-29中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸118-134中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸20-29中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸118-133中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸21-29中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸128-134中的任一的序列。上述GDF捕获物融合蛋白,其中衍生自ActRIIB的部分相应于起始于SEQ ID NO: 1的氨基酸20-29中的任一和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸128-133中的任一的序列。令人惊讶地,起始于SEQ ID NO: 1或39的22-25的

构建体具有大于具有人ActRIIB全部胞外结构域的蛋白质的活性水平。在一个优选的实施方案中,GDF捕获物融合蛋白包含起始于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸位置25和终止于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸位置131的氨基酸序列、基本上由该氨基酸序列组成或由该氨基酸序列组成。在另一个优选实施方案中,GDF捕获物多肽由SEQ ID NO: 7、26、28、29、32、37或38的氨基酸序列组成或基本上由该氨基酸序列组成。上述GDF捕获物融合蛋白中的任一可作为同源二聚体产生。上述GDF捕获物融合蛋白中的任一可具有包含来自IgG重链的恒定区诸如Fc结构域的异源性部分。上述GDF捕获物融合蛋白中的任一可包含在相应于SEQ ID NO: 1的位置79的位置的酸性氨基酸,任选地组合相对于SEQ ID NO: 1的一个或多个额外的氨基酸取代、缺失或插入。

[0021] 考虑其它GDF捕获物蛋白质,诸如以下。包含与SEQ ID NO:1或39的氨基酸29-109的序列具有至少80%同一性的氨基酸序列的GDF捕获物蛋白质,其中相应于SEQ ID NO:1的64的位置是R或K,并且其中GDF捕获物蛋白质在基于细胞的测定中通过激活素、筒箭毒碱和/或GDF11抑制信号传导。上述GDF捕获物蛋白质,其中相对于SEQ ID NO:1或39的序列的至少一个变化位于配体结合口袋之外。上述GDF捕获物蛋白质,其中相对于SEQ ID NO:1或39的序列的至少一个变化是位于配体结合口袋内的保守的变化。上述GDF捕获物蛋白质,其中相对于SEQ ID NO:1或39的序列的至少一个变化是在选自下列的一个或多个位置的变化:K74、R40、Q53、K55、F82和L79。上述GDF捕获物蛋白质,其中蛋白质在不同于ActRIIB的内源性N-X-S/T序列的位置、以及在配体结合口袋之外的位置包含至少一个N-X-S/T序列。

[0022] 考虑其它GDF捕获物,诸如以下。包含与SEQ ID NO:1或39的氨基酸29-109的序列具有至少80%同一性的氨基酸序列的GDF捕获物蛋白质,并且其中该蛋白质在不同于ActRIIB的内源性N-X-S/T序列的位置、以及在配体结合口袋之外的位置包含至少一个N-X-S/T序列。上述GDF捕获物,其中GDF捕获物蛋白质在相应于SEQ ID NO:1或39的位置24的位置包含N,并且在相应于SEQ ID NO:1或39的位置26的位置包含S或T,并且其中GDF捕获物在基于细胞的测定中抑制通过激活素、筒箭毒碱和/或GDF11的信号传导。上述GDF捕获物,其中GDF捕获物蛋白质在相应于SEQ ID NO:1或39的位置64的位置包含R或K。上述GDF捕获物,其中ActRIIB蛋白质在相应于SEQ ID NO:1或39的位置79的位置包含D或E,并且其中GDF捕获物在基于细胞的测定中抑制通过激活素、筒箭毒碱和/或GDF11的信号传导。上述GDF捕获物,其中相对于SEQ ID NO:1或39的序列的至少一个变化是位于配体结合口袋内的保守的变化。上述GDF捕获物,其中相对于SEQ ID NO:1或39的序列的至少一个变化是在选自下列的一个或多个位置的变化:K74、R40、Q53、K55、F82和L79。上述GDF捕获物,其中蛋白质是进一步包含异源性部分的融合蛋白。上述GDF捕获物融合蛋白的任一可作为同源二聚体产生。上述GDF捕获物融合蛋白的任一可具有包含来自IgG重链的恒定区诸如Fc结构域的异源性部分。

[0023] 在某些方面,本公开内容提供编码GDF捕获物多肽的核酸。分离的多核苷酸可包含诸如上文所述的可溶性GDF捕获物多肽的编码序列。例如,分离的核酸可包含编码GDF捕获物的序列,所述GDF捕获物包含具有一个或多个序列变异的ActRIIB多肽的胞外结构域(例如,配体-结合结构域),以及编码ActRIIB多肽的部分或全部跨膜结构域和/或胞质结构域的序列,除了定位在跨膜结构域或胞质结构域中或定位在胞外结构域与跨膜结构域或胞质结构域之间的终止密码子。例如,编码GDF捕获物的分离的多核苷酸可包含全长ActRIIB多

核苷酸序列,诸如,具有一个或多个变异的SEQ ID NO:4或部分截短形式,所述分离的多核苷酸进一步包含在3'-末端之前至少六百个核苷酸处或其它位置的转录终止密码子,从而使得多核苷酸的翻译产生任选地融合至全长ActRIIB的截短部分的胞外结构域。本文公开的核酸可以可操作地连接至启动子进行表达,且本公开内容提供用此类重组多核苷酸转化的细胞。所述细胞优选为哺乳动物细胞,诸如CHO细胞。

[0024] 在某些方面,本公开内容提供用于制备GDF捕获物多肽的方法。此类方法可包括在合适的细胞,诸如中国仓鼠卵巢(CHO)细胞中表达本文公开的任何核酸(例如,SEQ ID NO:5、25、27、30或31)。此类方法可包括:a)在适于表达GDF捕获物多肽的条件下培养细胞,其中用GDF捕获物表达构建体转化所述细胞;和b)回收如此表达的GDF捕获物多肽。GDF捕获物多肽可作为粗制的、部分纯化的或高度纯化的级分应用用于从细胞培养物获得蛋白质的任何众所周知技术回收。

[0025] 在某些方面,本文公开的GDF捕获物多肽可用于在受试者中促进红细胞产生或提高红细胞水平的方法中。在某些实施方案中,本公开内容提供了在有需要的患者中治疗与低红细胞计数或低血红蛋白水平相关的病症(例如,贫血,骨髓增生异常综合征等)或促进红细胞生成的方法。方法可包括给有需要的受试者施用有效量的GDF捕获物多肽。在某些方面,所述公开内容提供了GDF捕获物多肽在制备用于治疗本文描述的病症或状况的药物中的用途。

[0026] 部分地,本公开内容说明,GDF捕获物可与EPO受体激活剂组合使用(例如,在相同时间或不同时间施用,但通常以实现重叠药物效果的方式)以在有需要的患者中增加红细胞水平(红细胞生成)或治疗贫血。部分地,本公开内容说明,GDF捕获物可与EPO受体激活剂组合施用,以协同增加患者中的红细胞形成。因此,该组合治疗的效果可以显著高于GDF捕获物和EPO受体激活剂以其各自剂量单独施用时的效果总和。在某些实施方案中,该协同作用可为有利的,因为其能够以较低剂量的EPO受体激活剂获得红细胞目标水平,由此避免潜在的副作用或与较高水平的EPO受体激活相关的其它问题。

[0027] EPO受体激活剂可通过直接接触和激活EPO受体刺激红细胞生成。在某些实施方案中,EPO受体激活剂是基于天然EPO的165个氨基酸序列的一类化合物中的一个,并且通常称为红细胞生成-刺激剂(ESAs),其实例是依泊汀 α 、依泊汀 β 、依泊汀 δ 和依泊汀 ω 。在其它实施方案中,ESAs包括合成EPO蛋白质(SEPs)和EPO衍生物,其具有赋予期望的药代动力学特性(延长的循环半衰期)的非肽修饰,其实例是达贝泊汀 α (darbepoetin alfa)和甲氧基-聚乙二醇依泊汀 β 。在某些实施方案中,EPO受体激活剂可为不结合EPO多肽骨架或通常不归类为ESA的EPO受体激动剂。这种EPO受体激动剂可包括但不限于EPO的肽和非肽模拟物、靶向EPO受体的激动抗体、包含EPO模拟结构域的融合蛋白质、和促红细胞生成素受体延长期限制激动剂(erythropoietin receptor extended-duration limited agonists,EREDLA)。

[0028] 在某些实施方案中,EPO受体激活剂可通过增强内源性EPO产生间接刺激红细胞生成,不接触EPO受体本身。例如,低氧诱导的转录因子(HIFs)是EPO基因表达的内源性刺激剂,所述表达在常氧条件下通过细胞调节机制而抑制(去稳定)。部分地,本公开内容通过应用GDF捕获物和具有HIF稳定特性的间接EPO受体激活剂诸如脯氨酰羟化酶抑制剂组合治疗提供患者中增加的红细胞生成。

[0029] 在某些方面,本公开内容提供用于向患者施用GDF捕获物多肽的方法。部分地,本

公开内容说明GDF捕获物多肽可以用于增加红细胞和血红蛋白水平。部分地,本公开内容证明GDF捕获物多肽可用于治疗患有无效性红细胞生成的患者,并降低与无效性红细胞生成相关的一种或多种状况,诸如贫血、脾大、铁超负荷或骨病症。在某些方面,本公开内容提供了使用GDF捕获物多肽来治疗患有地中海贫血的患者中无效性红细胞生成、同时降低对于输注红细胞的需要并且降低与脆弱组织中铁沉积相关的发病率和死亡率的方法。特别地,GDF捕获物多肽可以这种方式使用来治疗 β -地中海贫血综合征,包括中间型 β -地中海贫血。GDF捕获物多肽也可用于治疗或预防其它治疗应用,诸如促进肌肉生长。在某些情况下,当施用GDF捕获物多肽用于促进肌肉生长时,可期望在施用GDF捕获物多肽期间监测对红细胞的作用、或确定或调节GDF捕获物多肽的给药,以便降低对红细胞的不期望的效果。例如,红细胞水平、血红蛋白水平或血细胞比容水平的增加可引起血压的增加。

附图说明

[0030]

图1显示具有本文中推导的残基的人ActRIIA (SEQ ID NO: 15) 和人 ActRIIB (SEQ ID NO: 2) 的胞外结构域的比对,其基于将多个ActRIIB和ActRIIA晶体结构复合分析至用框表明的直接接触配体(配体结合口袋)。

[0031] 图2显示各种脊椎动物ActRIIB蛋白质和人ActRIIA (SEQ ID NOs: 16-23) 的多重序列比对。

[0032] 图3显示GDF捕获物ActRIIB (L79D 20-134) -hFc的全部氨基酸序列 (SEQ ID NO: 11), 包括TPA前导序列(双下划线)、ActRIIB胞外结构域 (SEQ ID NO: 1中的残基20-134; 下划线) 和hFc结构域。在天然序列位置79取代的天冬氨酸是双下划线和突出显示的,如通过测序为成熟融合蛋白中N-末端残基所显示的甘氨酸。

[0033] 图4显示编码ActRIIB (L79D 20-134) -hFc的核苷酸序列。SEQ ID NO: 25相应于有义链,并且SEQ ID NO: 33相应于反义链。TPA前导序列(核苷酸1-66) 是双下划线的,并且ActRIIB胞外结构域(核苷酸76-420) 是下划线的。

[0034] 图5显示截短的GDF捕获物ActRIIB (L79D 25-131) -hFc的全部氨基酸序列 (SEQ ID NO: 26), 包括TPA前导序列(双下划线)、截短的ActRIIB胞外结构域 (SEQ ID NO: 1中的残基25-131; 下划线) 和hFc结构域。在天然序列位置79取代的天冬氨酸是双下划线和突出显示的,如通过测序为成熟融合蛋白中N-末端残基所显示的谷氨酸。

[0035] 图6显示编码ActRIIB (L79D 25-131) -hFc的核苷酸序列。SEQ ID NO: 27相应于有义链,并且SEQ ID NO: 34相应于反义链。TPA前导序列(核苷酸1-66) 是双下划线的,并且截短的ActRIIB胞外结构域(核苷酸76-396) 是下划线的。也显示ActRIIB胞外结构域的氨基酸序列 (SEQ ID NO: 1中的残基25-131)。

[0036] 图7显示无前导序列的截短的GDF捕获物ActRIIB (L79D 25-131) -hFc的氨基酸序列 (SEQ ID NO: 28)。截短的ActRIIB胞外结构域 (SEQ ID NO: 1中的残基25-131) 是下划线的。在天然序列位置79取代的天冬氨酸是双下划线和突出显示的,如通过测序为成熟融合蛋白中N-末端残基所显示的谷氨酸。

[0037] 图8显示无前导序列、hFc结构域和接头的截短的GDF捕获物ActRIIB (L79D 25-131) 的氨基酸序列 (SEQ ID NO: 29)。在天然序列位置79取代的天冬氨酸是下划线和突出

显示的,如通过测序为成熟融合蛋白中N-末端残基所显示的谷氨酸。

[0038] 图9显示编码ActRIIB (L79D 25-131)-hFc的替代核苷酸序列。SEQ ID NO: 30相应于有义链,并且SEQ ID NO: 35相应于反义链。TPA前导序列(核苷酸1-66)是双下划线的,截短的ActRIIB胞外结构域(核苷酸76-396)是下划线的,并且胞外结构域野生型核苷酸序列中的取代是双下划线和突出显示的(与SEQ ID NO: 27比较,图6)。也显示ActRIIB胞外结构域的氨基酸序列(SEQ ID NO: 1中的残基25-131)。

[0039] 图10显示图9中显示的替代核苷酸序列(SEQ ID NO: 30)的核苷酸76-396(SEQ ID NO: 31)。图9中表明的相同核苷酸取代也在此下划线和突出显示。SEQ ID NO: 31仅编码截短的ActRIIB胞外结构域(对应于SEQ ID NO: 1中的残基25-131),具有L79D取代,例如ActRIIB (L79D 25-131)。

[0040] 图11显示ActRIIB (L79D 25-131)-hFc对化学治疗诱导的贫血的小鼠模型中血红蛋白浓度的作用。数据为平均值 $\pm$ SEM。**, $P<0.01$,相比于紫杉醇,在相同时间点。该GDF捕获物抵销紫杉醇治疗诱导的贫血。

[0041] 图12显示ActRIIB (L79D 25-131)-hFc对慢性肾脏疾病的单侧肾切除(NEPHX)小鼠模型中红细胞(RBC)水平的作用。数据为平均值 $\pm$ SEM。***, $P<0.001$,相比于基线。该GDF捕获物逆转对照小鼠中观察的肾切除术诱导的贫血。

[0042] 图13显示ActRIIB (L79D 25-131)-hFc对慢性肾脏疾病的单侧肾切除(NEPHX)小鼠模型中红细胞(RBC)、血红蛋白(HGB)和血细胞比容(HCT)水平的作用。数据是4周期间距基线的平均变化($\pm$ SEM)。*, $P<0.05$;**, $P<0.01$;***, $P<0.001$,相比于NEPHX对照。该GDF捕获物防止肾切除术相关的这些红细胞参数的降低,增加各自与肾脏完整(假手术(sham))小鼠中类似的量级。

[0043] 图14显示ActRIIB (L79D 25-131)-hFc对急性失血诱导的贫血的大鼠模型中红细胞(RBC)水平的作用。血液移取在第-1天发生,给药在第0和3天。数据为平均值 $\pm$ SEM。**, $P<0.01$;***, $P<0.001$,相比于载体,在相同时间点。该GDF捕获物改善从失血诱导的贫血恢复的速度和程度。

[0044] 图15显示用ActRIIB (L79D 20-134)-hFc(灰色)或ActRIIB (L79D 25-131)-hFc(黑色)治疗对食蟹猴中红细胞浓度距基线的绝对变化的作用。VEH=载体。数据为平均值 $\pm$ SEM。 $n=4-8$ /每组。

[0045] 图16显示用ActRIIB (L79D 20-134)-hFc(灰色)或ActRIIB (L79D 25-131)-hFc(黑色)治疗对食蟹猴中血细胞比容距基线的绝对变化的作用。VEH=载体。数据为平均值 $\pm$ SEM。 $n=4-8$ /每组。

[0046] 图17显示用ActRIIB (L79D 20-134)-hFc(灰色)或ActRIIB (L79D 25-131)-hFc(黑色)治疗对食蟹猴中血红蛋白浓度距基线的绝对变化的作用。VEH=载体。数据为平均值 $\pm$ SEM。 $n=4-8$ /每组。

[0047] 图18显示用ActRIIB (L79D 20-134)-hFc(灰色)或ActRIIB (L79D 25-131)-hFc(黑色)治疗对食蟹猴中循环网织红细胞浓度距基线的绝对变化的作用。VEH=载体。数据为平均值 $\pm$ SEM。 $n=4-8$ /每组。

[0048] 图19显示用促红细胞生成素(EPO)和ActRIIB (L79D 25-131)-hFc组合治疗72小时对小鼠中血细胞比容的作用。数据为平均值 $\pm$ SEM($n=4$ /每组),并且彼此显著不同的平均值

($p < 0.05$, 非配对t检验) 由不同字母指定。与载体相比, 组合治疗增加血细胞比容23%, 这是大于EP0和ActRIIB (L79D 25-131) -hFc的单独效果的总和的协同增加。

[0049] 图20显示用EP0和ActRIIB (L79D 25-131) -hFc组合治疗72小时对小鼠中血红蛋白浓度的作用。数据为平均值 $\pm$ SEM ($n=4$ /每组), 并且彼此显著不同的平均值 ($p < 0.05$) 由不同字母指定。与载体相比, 组合治疗增加血红蛋白浓度23%, 其也是协同效果。

[0050] 图21显示用EP0和ActRIIB (L79D 25-131) -hFc组合治疗72小时对小鼠中红细胞浓度的作用。数据为平均值 $\pm$ SEM ($n=4$ /每组), 并且彼此显著不同的平均值 ($p < 0.05$) 由不同字母指定。与载体相比, 组合治疗增加血红蛋白浓度20%, 其也是协同效果。

[0051] 图22显示用EP0和ActRIIB (L79D 25-131) -hFc组合治疗72小时对小鼠脾中红细胞生成前体细胞的数目的作用。数据为平均值 $\pm$ SEM ($n=4$ /每组), 并且彼此显著不同的平均值 ($p < 0.01$) 由不同字母指定。尽管单独的EP0以晚期前体成熟的代价显著增加嗜碱性成红细胞 (BasoE) 数目, 但组合治疗增加BasoE数目至较少但仍然显著的程度, 同时支持晚期前体不降低的成熟。

[0052] 图23比较 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中的RBC参数与野生型 (WT) 小鼠中的RBC参数。分析来自未治疗的2-6个月龄小鼠的血液样品以确定红细胞数 (RBC; A)、血细胞比容 (HCT; B) 和血红蛋白浓度 (Hgb; C)。数据为平均值 $\pm$ SEM ($n = 4$ /每组), ***, $p < 0.001$ 。 $Hbb^{-/-}$ 小鼠被证实为严重贫血。

[0053] 图24显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131) -mFc对RBC数的影响。治疗4周后收集血液样品。数据为每组2只的平均值, 其中条指示范围。用ActRIIB (L79D 25-131) -mFc治疗使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中存在的RBC不足降低一半。

[0054] 图25显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131) -mFc对RBC形态的影响。以100x放大倍数获得来自处理4周的小鼠的Giemsa染色的血液涂片的图像。注意到来自载体处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠的血液中的溶血、细胞碎片和许多小或不规则形状的RBC。通过比较, ActRIIB (L79D 25-131) -mFc处理大大减少溶血、碎片和不规则形状的RBC的存在, 同时增加正常形状RBC的数目。

[0055] 图26显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131) -mFc处理2个月对RBC数的影响, 其中包括来自载体给药的野生型小鼠的数据用于比较。数据为平均值 $\pm$ SEM; $n = 7$ /每组。**, $P < 0.01$, 相比于载体处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。用ActRIIB (L79D 25-131) -mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中的平均RBC不足降低超过50%。

[0056] 图27显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131) -mFc处理2个月对血清胆红素水平的影响, 其中包括来自载体给药的野生型小鼠的数据用于比较。数据为平均值 $\pm$ SEM。###, $P < 0.001$, 相比于载体处理的野生型小鼠; *, $P < 0.05$, 相比于载体-处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。用ActRIIB (L79D 25-131) -mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中的总胆红素水平显著降低。

[0057] 图28显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131) -mFc处理2个月对血清EP0水平的影响, 其中包括来自载体给药的野生型小鼠的数据用于比较。数据为平均值 $\pm$ SEM。###, $P < 0.001$, 相比于载体-处理的野生型小鼠; *, $P < 0.05$, 相比于载体-处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。用ActRIIB (L79D 25-131) -mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中的平均循环EP0水平降低超过60%。

[0058] 图29显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-mFc对脾大的影响,其中包括来自载体给药的野生型小鼠的数据用于比较。A. 从3个月龄开始到用1 mg/kg每周两次处理2个月后来自小鼠的平均值 $\pm$ SEM。###, $P < 0.001$,相比于载体-处理的野生型小鼠;* , $P < 0.05$,相比于载体-处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。B. 代表性脾脏尺寸,如从6-8个月龄开始到用1 mg/kg每周两次处理3个月后的鼠中的独立研究中所观察。用ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中脾脏重量显著降低。

[0059] 图30显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理2个月对骨矿物质密度的影响,其中包括来自载体给药的野生型小鼠的数据用于比较。基于股骨分析的平均值 $\pm$ SEM。#, $P < 0.05$,相比于载体-处理的野生型小鼠;* , $P < 0.05$,相比于载体-处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。用ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中骨矿物质密度正常化。

[0060] 图31显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理2个月对铁稳态参数的影响。对于血清铁(A)、血清铁蛋白(B)和转铁蛋白饱和度(C)的平均值 $\pm$ SEM。*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$,相比于载体-处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。用ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中铁超负荷的每个测量显著降低。

[0061] 图32显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理2个月对组织铁超负荷的影响。通过用Per1氏普鲁士蓝染色来确定来自脾脏(A-C)、肝脏(D-F)和肾脏(G-I)的组织切片(200 μ m)的铁水平。野生型脾脏(A)中的铁染色在红髓中丰富(箭头),但不存在于白髓中(*)。 $Hbb^{-/-}$ 小鼠脾脏中的铁染色的增加(B)反映了由于髓外红细胞生成而导致的红髓区的扩大。在 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中,ActRIIB (L79D 25-131)-mFc降低了脾红细胞生成,并且恢复了脾铁染色的野生型模式(C)。此外,ActRIIB (L79D 25-131)-mFc使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠的肝库弗氏细胞(hepatic Kupffer cells)(H,箭头)和肾皮质(E,箭头)中的异常铁染色正常化(F和I)。放大倍数,200x。

[0062] 图33显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理2个月对铁调素mRNA的肝水平的影响。平均值 $\pm$ SEM; *, $P < 0.05$,相比于载体-处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。用ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中的铁调素mRNA的表达显著增加。

[0063] 图34显示在 β -地中海贫血的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-mFc对活性氧类别(ROS)的循环水平的影响,其中包括来自载体给药的野生型小鼠的数据用于比较。数据是几何平均值 $\pm$ SEM。###, $P < 0.001$,相比于载体-处理的野生型小鼠;***, $P < 0.001$,相比于载体-处理的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠。用ActRIIB (L79D 25-131)-mFc处理使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中ROS显著降低。

具体实施方式

[0064]

1. 综述

转化生长因子- β (TGF- β) 超家族包含多种生长因子,它们具有共同的序列元件和结构基序。已知这些蛋白在脊椎动物和无脊椎动物两者中对多种细胞类型施加生物作用。该超家族的成员在胚胎发育过程中在模式形成和组织特化方面行使重要功能,并且能够影响多

种分化过程,包括脂肪生成、肌发生、软骨发生、心脏生成、血细胞生成、神经发生和上皮细胞分化。通过操纵TGF- β 家族成员的活性,通常可以导致生物中的显著生理学改变。例如,皮埃蒙特(Piedmontese)和比利时蓝牛品种携带GDF8(也称作筒箭毒碱)基因中的功能丧失突变,其导致肌肉量的显著增加。Grobet等人, Nat Genet. 1997, 17(1):71-4。此外,在人类中,GDF8的无活性等位基因与增加的肌肉量相关,并且,据报道,与异常的力量相关。Schuelke等人, N Engl J Med 2004, 350:2682-8。

[0065] TGF- β 信号由在配体刺激后磷酸化并激活下游Smad蛋白质的I型和II型丝氨酸/苏氨酸激酶受体的异聚复合体介导(Massagué, 2000, Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 1:169-178)。这些I型和II型受体是跨膜蛋白质,由具有富含半胱氨酸区域的配体-结合胞外结构域、跨膜结构域、和具有预测丝氨酸/苏氨酸特异性的胞质结构域构成。I型受体是信号传导必需的。II型受体是结合配体和I型受体表达所需的。I型和II型激活素受体在配体结合后形成稳定的复合体,导致I型受体被II型受体磷酸化。

[0066] 两种相关II型受体(ActRII) ActRIIA和ActRIIB已鉴定为用于激活素的II型受体(Mathews和Vale, 1991, Cell 65:973-982; Attisano等人, 1992, Cell 68: 97-108)。除激活素外,ActRIIA和ActRIIB可以与几种其它TGF- β 家族蛋白质(包括BMP7、Nodal、GDF8和GDF11)生物化学地相互作用(Yamashita等人, 1995, J. Cell Biol. 130:217-226; Lee和McPherron, 2001, Proc. Natl. Acad. Sci. 98:9306-9311; Yeo和Whitman, 2001, Mol. Cell 7: 949-957; Oh等人, 2002, Genes Dev. 16:2749-54)。ALK4是对于激活素、特别是对于激活素A的主要I型受体,并且ALK-7也可充当对于激活素、特别是对于激活素B的受体。在某些实施方案中,本发明涉及用主题GDF捕获物多肽拮抗ActRIIB受体的配体(也称为ActRIIB配体)。ActRIIB受体的示例性配体包括一些TGF- β 家族成员,诸如激活素A、激活素B、Nodal、GDF8、GDF11和BMP7。

[0067] 激活素是二聚多肽生长因子,其属于TGF- β 超家族。存在三种主要的激活素形式(A,B和AB),其为两种密切相关的 β 亚基的同源/异源二聚体(分别为 $\beta_A\beta_A$, $\beta_B\beta_B$ 和 $\beta_A\beta_B$)。人基因组还编码激活素C和激活素E,它们主要在肝中表达,同样已知包括 β_C 或 β_E 的异源二聚体形式。在TGF- β 超家族中,激活素是独特的和多功能的因子,它能够刺激卵巢和胎盘细胞中的激素生成,支持神经元细胞存活,根据细胞类型正面或负面影响细胞周期进程,并至少在两栖动物胚胎中诱导中胚层的分化(DePaolo等人, 1991, Proc Soc Ep Biol Med. 198: 500-512; Dyson等人, 1997, Curr Biol. 7:81-84; Woodruff, 1998, Biochem Pharmacol. 55:953-963)。此外,发现从刺激后的人单核细胞白血病细胞中分离的红细胞分化因子(EDF)与激活素A相同(Murata等人,1988,PNAS,85:2434)。已表明激活素A促进骨髓中的红细胞生成。在几种组织中,激活素信号传导被它的相关异源二聚体,即抑制素所拮抗。例如,在从脑垂体释放促卵泡激素(FSH)的过程中,激活素促进FSH分泌和合成,而抑制素阻止FSH的分泌和合成。其它可调节激活素生物活性和/或结合激活素的蛋白包括卵泡抑素(FS)、卵泡抑素相关蛋白(FSRP)和 α_2 -巨球蛋白。

[0068] Nodal蛋白质在早期胚胎发生中在中胚层和内胚层诱导和形成以及随后的轴结构诸如心脏和胃的组织化中具有功能。已说明发育中脊椎动物胚胎中的脊背组织主要促成脊索和脊索前板的轴结构,同时其募集周围细胞以形成非轴胚胎结构。Nodal看来通过I型和II型受体二者和称为Smad蛋白质的细胞内效应器信号传导。近来的研究支持ActRIIA和

ActRIIB起Nodal的II型受体作用的观点(Sakuma等人, *Genes Cells*. 2002, 7:401-12)。建议的是,Nodal配体与它们的辅因子(例如cripto)相互作用以激活激活素I型和II型受体,其磷酸化Smad2。Nodal蛋白质牵涉在对早期脊椎动物胚胎关键的许多事件中,包括中胚层形成、前部图式形成(anterior patterning)和左右轴特化(left-right axis specification)。实验证据已说明Nodal信号传导激活pAR3-Lux,其为之前显示对激活素和TGF- β 特异性应答的荧光素酶报道分子。但是,Nodal不能诱导pTlx2-Lux,其为对骨形态发生蛋白特异性应答的报道分子。近来的结果提供直接生物化学证据,即Nodal信号传导通过激活素-TGF- β 途径Smads(Smad2和Smad3)介导。其它证据已显示胞外cripto蛋白质是Nodal信号传导所需的,使其不同于激活素或TGF- β 信号传导。

[0069] 生长和分化因子-8(GDF8)也称为筒箭毒碱。GDF8是骨骼肌量的负调节物。GDF8在发育中骨骼肌和成人骨骼肌中高度表达。转基因小鼠中的GDF8无效突变的特征在于骨骼肌的显著肥大和增生(McPherron等人, *Nature*, 1997, 387:83-90)。骨骼肌量的类似增加在牛中GDF8的天然发生的突变中是明显的(Ashmore等人, 1974, *Growth*, 38:501-507; Swatland和Kieffer, *J. Anim. Sci.*, 1994, 38:752-757; McPherron和Lee, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1997, 94:12457-12461;以及Kambadur等人, *Genome Res.*, 1997, 7:910-915),并且在人中是引人注目的(Schuelke等人, *N Engl J Med* 2004;350:2682-8)。研究也已显示与人中HIV-感染相关的肌肉萎缩伴随GDF8蛋白质表达增加(Gonzalez-Cadavid等人, *PNAS*, 1998, 95:14938-43)。此外,GDF8可以调节肌肉-特异性酶(例如,肌酸激酶)的产生和调节成肌细胞细胞增殖(WO 00/43781)。GDF8前肽可以非共价结合于成熟GDF8结构域二聚体,失活其生物学活性(Miyazono等人(1988) *J. Biol. Chem.*, 263: 6407-6415; Wakefield等人(1988) *J. Biol. Chem.*, 263: 7646-7654;和Brown等人(1990) *Growth Factors*, 3: 35-43)。结合GDF8或结构上相关蛋白质和抑制它们的生物学活性的其它蛋白质包括卵泡抑素,以及潜在地卵泡抑素相关蛋白质(Gamer等人(1999) *Dev. Biol.*, 208: 222-232)。

[0070] 生长和分化因子-11(GDF11)也称为BMP11,为分泌蛋白质(McPherron等人, 1999, *Nat. Genet.* 22: 260-264)。GDF11在小鼠发育期间在尾芽、肢芽、上颌弓和下颌弓和背根神经节中表达(Nakashima等人, 1999, *Mech. Dev.* 80: 185-189)。GDF11在图式形成(patterning)中胚层和神经组织中起独特作用(Gamer等人, 1999, *Dev Biol.*, 208:222-32)。显示GDF11是发育中鸡肢中的软骨形成和肌形成的负调节物(Gamer等人, 2001, *Dev Biol.* 229:407-20)。GDF11在肌肉中的表达也表明其在以类似于GDF8的方式调节肌肉生长中的作用。此外,GDF11在脑中的表达表明GDF11也可具有涉及神经系统功能的活性。有趣的是,发现GDF11抑制嗅上皮中的神经发生(Wu等人, 2003, *Neuron*. 37:197-207)。

[0071] 骨形态发生蛋白(BMP7)也称为成骨蛋白质-1(OP-1),众所周知其诱导软骨和骨形成。此外,BMP7调节广泛的生理过程。例如,BMP7可为负责上皮骨发生现象的骨诱导因子。也发现BMP7在钙调节和骨稳态中起作用。类似于激活素,BMP7结合II型受体ActRIIA和ActRIIB。但是,BMP7和激活素募集不同的I型受体到异聚受体复合体中。观察到的主要BMP7 I型受体是ALK2,而激活素唯一地结合于ALK4(ActRIIB)。BMP7和激活素引发不同的生物应答并激活不同的Smad途径(Macias-Silva等人, 1998, *J Biol Chem.* 273:25628-36)。

[0072] 如本文说明的,为变体ActRIIB多肽(ActRIIB)的GDF捕获物多肽与野生型可溶性

ActRIIB多肽相比更有效增加体内红细胞水平并且在各种贫血和无效性红细胞生成模型中具有有益效果。另外地,显示GDF捕获物多肽组合EPO受体激活剂的应用引起红细胞形成的大量增加。应当指出,血细胞生成是复杂的过程,由多种因素调节,包括促红细胞生成素、G-CSF和铁稳态。术语“增加的红细胞水平”和“促进红细胞形成”指临床上可观察的量度,诸如血细胞比容、红细胞计数和血红蛋白测量,并且意图对于通过其发生这种变化的机制是中立的。

[0073] 除了刺激红细胞水平外,GDF捕获物多肽对于多种治疗应用有用,包括例如,促进肌肉生长(参见PCT公开号WO 2006/012627和WO 2008/097541,其以其整体通过引用并入本文)。在某些情况下,当施用GDF捕获物多肽用于增加肌肉目的时,可期望降低或最小化对红细胞的效果。通过监测用GDF捕获物多肽治疗中的患者或用GDF捕获物多肽治疗的候选者中的各种血液学参数,适当的给药(包括施用量和频率)可基于个别患者的需求、基线血液学参数和治疗目的确定。而且,随时间推移的治疗进展和对一种或多种血液学参数的效果可用于管理给予GDF捕获物多肽的患者,这通过促进患者护理、确定适当的维持给药(量和频率)等进行。

[0074] EPO是参与红细胞系祖细胞生长和成熟为红细胞的糖蛋白激素。EPO在胎儿生命期间由肝脏产生,并且在成人中由肾脏产生。通常在成人中作为肾脏衰竭后果发生的EPO产生的降低产生引起贫血。EPO已通过基于蛋白质从用EPO基因转染的宿主细胞的表达和分泌的遗传工程技术产生。此类重组EPO的施用在贫血的治疗中是有效的。例如,Eschbach等人(1987, N Engl J Med 316:73)描述了应用EPO纠正慢性肾脏衰竭引起的贫血。

[0075] EPO的效果通过其结合、和激活属于细胞因子受体超家族并指定为EPO受体的细胞表面受体而介导。人和鼠EPO受体已得到克隆和表达(D' Andrea等人, 1989, Cell 57:277; Jones等人, 1990, Blood 76:31; Winkelman等人, 1990, Blood 76:24; WO 90/08822/美国专利号5,278,065)。人EPO受体基因编码483个氨基酸的跨膜蛋白质,其包含大约224个氨基酸的胞外结构域,并展示与鼠EPO受体大约82%的氨基酸序列同一性(参见美国专利号6,319,499)。哺乳动物细胞中表达的克隆的全长EPO受体(66-72 kDa)以类似于天然受体在红细胞系祖细胞上的亲和力的亲和力($K_D=100-300$ nM)结合EPO。因此,认为该形式包含主要EPO结合决定簇并且称为EPO受体。通过与其它密切相关的细胞因子受体类比,认为EPO受体在激动剂结合后二聚化。然而,可为多聚复合体的EPO受体的详细结构及其具体激活机制不完全理解(美国专利号6,319,499)。

[0076] EPO受体激活引起几种生物学效果。这些包括不成熟成红血细胞的增加的增殖、不成熟成红血细胞的增加的分化、和红细胞系祖细胞的降低的凋亡(Liboi等人, 1993, Proc Natl Acad Sci USA 90:11351-11355; Koury等人, 1990, Science 248:378-381)。介导增殖和分化的EPO受体信号转导途径似乎不同(Noguchi等人, 1988, Mol Cell Biol 8:2604; Patel等人, 1992, J Biol Chem 1992, 267:21300; Liboi等人, 同上)。一些结果暗示附属蛋白质可能对于分化信号的介导是需要的(Chiba等人, 1993, Nature 362:646; Chiba等人, 1993, Proc Natl Acad Sci USA 90:11593);但是,关于附属蛋白质在分化中的作用存在争论,因为组成型活化形式的受体可以刺激增殖和分化二者(Pharr等人, 1993, Proc Natl Acad Sci USA 90:938)。

[0077] EPO受体激活剂包括小分子红细胞生成-刺激剂(ESAs)以及基于EPO的化合物。前

者的实例是与聚乙二醇共价连接的基于二聚肽的激动剂(专利药品名称Hematide),其已显示在健康志愿者和具有慢性肾脏疾病和内源性抗-EPO抗体的患者中的红细胞生成-刺激特性(Stead等人, 2006, Blood 108:1830-1834; Macdougall等人, 2009, N Engl J Med 361:1848-1855)。其它实例包括基于非肽的ESAs (Qureshi等人, 1999, Proc Natl Acad Sci USA 96:12156-12161)。

[0078] EPO受体激活剂也包括不接触EPO受体本身、通过增强内源性EPO产生间接刺激红细胞生成的化合物。例如,低氧诱导的转录因子(HIFs)是EPO基因表达的内源性刺激物,其在常氧条件下被细胞调节机制抑制(去稳定)。因此,HIF脯氨酰羟化酶抑制剂正研究用于体内EPO-诱导活性。EPO受体的其它间接激活剂包括GATA-2转录因子抑制剂(Nakano等人, 2004, Blood 104:4300-4307),其增强地抑制EPO基因表达,和造血细胞磷酸酶(HCP或SHP-1)抑制剂,其作为EPO受体信号转导的负调节剂起作用(Klingmuller等人, 1995, Cell 80:729-738)。

[0079] 在本发明的上下文中以及在使用每个术语的特定的上下文中,在本说明书中所用的术语通常具有其在本领域中的普通含义。在下文以及说明书的其它部分讨论了某些术语,以在描述本发明的组合物和方法以及如何制造和使用它们的方面为操作者提供额外的指导。术语的任何使用范围或含义将从使用该术语的特定上下文显而易见。

[0080] “约”和“大约”一般应表示考虑到测量法的性质和精确性,测得的量的可接受误差程度。典型地,示例性误差程度为在给定的数值或数值范围的20%以内,优选在10%以内,更优选在5%以内。

[0081] 或者,特别是在生物系统中,术语“约”和“大约”可表示在一定数量级内,优选在给定值的5倍以内,更优选在2倍以内的值。除非另有说明,本文给出的数量为近似值,表示在未明确指出时,可推出术语“约”或“大约”。

[0082] 本发明的方法可包括对序列彼此比较的步骤,包括将野生型序列与一种或多种突变体(序列变体)进行比较。此类比较通常包括聚合物序列的比对,例如,采用本领域众所周知的序列比对程序和/或算法(例如,稍加举例,BLAST、FASTA和MEGALIGN)进行。技术人员可容易地理解:在此类比对中,当突变包含残基插入或缺失时,该序列比对将在不包含该插入或缺失的残基的聚合物序列中引入“空位(gap)”(通常由破折号或“A”表示)。

[0083] 以其所有的语法形式和拼写变化表示的“同源的”均指具有“共同进化起源”的两种蛋白(包括来自相同生物物种的超家族的蛋白,以及来自不同生物物种的同源蛋白)之间的关系。此类蛋白(及其编码核酸)具有序列同源性,这反映在它们的序列相似性,不管是在同一性百分比方面还是在特定残基或基序以及保守位置的存在方面。

[0084] 以其所有的语法形式表示的术语“序列相似性”指可共有或可不共有共同进化起源的核酸或氨基酸序列之间的同一性或对应性程度。

[0085] 然而,在通常的使用以及在本申请中,当术语“同源的”被副词例如“高度”修饰时,可表示序列相似性,并可涉及或可不涉及共同进化起源。

[0086] 2. GDF捕获物多肽

在某些方面,本发明涉及GDF捕获物多肽,例如可溶性变体ActRIIB多肽,包括例如,ActRIIB多肽的片段、功能变体和修饰形式。在某些实施方案中,GDF捕获物多肽具有至少一种与相应野生型ActRIIB多肽相似或相同的生物活性。例如,本发明的GDF捕获物多肽可结

合ActRIIB配体(例如,激活素A、激活素AB、激活素B、Nodal、GDF8、GDF11或BMP7)并抑制其功能。任选地,GDF捕获物多肽增加红细胞水平。GDF捕获物多肽的实例包括具有一个或多个序列变化的人ActRIIB前体多肽(SEQ ID NO: 1或39),和具有一个或多个序列变化的可溶性人ActRIIB多肽(例如,SEQ ID NOs: 2、3、7、11、26、28、29、32、37、38、40和41)。

[0087] 本文所用的术语“ActRIIB”指来自任何物种的IIB型激活素受体(ActRIIB)蛋白以及通过诱变或其它修饰从此类ActRIIB蛋白衍生的变体的家族。本文提及ActRIIB应理解为提及目前鉴定的形式中的任何一种。ActRIIB家族的成员通常为跨膜蛋白,由具有富含半胱氨酸的区域的配体结合胞外结构域、跨膜结构域以及具有预测的丝氨酸/苏氨酸激酶活性的胞质结构域构成。人ActRIIA可溶性胞外结构域(提供用于比较)和ActRIIB可溶性胞外结构域的氨基酸序列在图1中图解。

[0088] 术语“ActRIIB多肽”包括包含ActRIIB家族成员的任何天然存在的多肽及其保留了有用活性的任何变体(包括突变体、片段、融合体以及肽模拟物(peptidomimetic)形式)的多肽。参见,例如WO 2006/012627。例如,ActRIIB多肽包括由任何已知ActRIIB的序列所衍生的、具有与ActRIIB多肽的序列具有至少约80%同一性、任选至少85%、90%、95%、97%、99%或更高同一性的序列的多肽。例如,ActRIIB多肽可结合ActRIIB蛋白和/或激活素并抑制其功能。可针对在体内促进红细胞形成的活性选择为GDF捕获物的ActRIIB多肽。ActRIIB多肽的实例包括人ActRIIB前体多肽(SEQ ID NO: 1和39)和可溶性人ActRIIB多肽(例如,SEQ ID NO: 2、3、7、11、26、28、29、32、37、38、40和41)。对于本文描述的所有ActRIIB-相关多肽的氨基酸编号基于SEQ ID NO:1的编号,除非另外具体指明。

[0089] 人ActRIIB前体蛋白序列如下:

```

MTAPFWALALLNGSLNFGSGRGGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERC
EGEQDKRLHCYASWRNSSGTIELVKKGCWLDDFNCYDRQECVATEENPQ
VYFCCCEGNFCNERFTHLPEAGGPEVTYEPPTAPTLLTVLAYSLLPIG
GLSLIVLLAFWMYRHRKPPYGHVDIHEDPGPFPPSPPLVGLKPLQLLEIK
ARGRFGCVWKAQLMNDFAVKIFPLQDKQSWQSEREIFSTPGMKHENLL
QFIAAEKRGSNLEVELWLITAFHDKGSLTDYLKGNIIITWNECHVAETM
SRGLSYLNEDVPWCRGEGHKPSIAHRDFKSKNVLLKSDLTAVLADFGLA
VRFEPGKPPGDTGQVGTBRYMAPEVLEGAINFQORDAFLRIDMYAMGLV
LWELVSRCKAADGPVDEYMLPFEEBIGQHPSLEELQEVDVVHKKMRPTIK
DHWLKHFGLAQLCVTIEECWDHDAEARLSAGCVEERVSLIRFSVNGTTS
DCLVSLVTSVTNVDLPPKESSI (SEQ ID NO: 1)。

```

[0090] 信号肽以单下划线表示;胞外结构域以粗体表示,而潜在的N-联糖基化位点在框中。

[0091] 在位置64具有丙氨酸的形式也在文献中报告,如下:

MTAPWVALALLNGSLWPGSGRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERC
 EGEQDKRLHCYASWANSSGTIELVKKG CWLDDFNCYDRQECVATEENPQ
 VYFCCCEGNFCNERFTHLPEAGGPEVTYEPPTAPTLLTVLAYSLLPIG
 GLSLIVLLAFWMYRHRKPPYGHVDIHEDFGPPPPSPVLVGLKPLQLLEIK
 ARGRFGCVWKAQLMNDFAVKIFPLQDKQSWQSEREIFSTPGMKHENLL
 QFIAAEKRGSNLEVELWLITAFHDKGSLTDYLGKNIITWNECHVAETM
 SRGLSYLHEDVPWCRGEGHKPSIAHRDFKSKNVLLKSDLTAVLADFGLA
 VRFEPGKPPGDTHGQVGTTRYMAFEVLEGAINFQORDAFLRIDMYAMGLV
 LWELVSRCKAADGPVDEYMLPFEEEIGQHPSLEELQEVVVHKKMRPTIK
 DHWLKHPGLAQLCVTIEECWDHDAEARLSAGCVEERVSLIRSVNGTTS
 DCLVSLVTSVTNVDLPPKESSI (SEQ ID NO: 39)。

[0092] 人ActRIIB可溶性(细胞外)、加工的多肽序列如下:

GRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCEGEQDKRLHCYASWRNSSG
 TIELVKKG CWLDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLP
 EAGGPEVTYEPPTAPT (SEQ ID NO: 2)。

[0093] 具有A64的可替代形式如下:

GRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCEGEQDKRLHCYASWANSSG
 TIELVKKG CWLDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLP
 EAGGPEVTYEPPTAPT (SEQ ID NO: 40)。

[0094] 在一些条件下,可产生在N-末端具有“SGR...”序列的蛋白质。胞外结构域的C-末端“尾”以下划线表示。缺失“尾”的序列(Δ 15序列)如下:

GRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCEGEQDKRLHCYASWRNSSG
 TIELVKKG CWLDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLP
 EA (SEQ ID NO: 3)。

[0095] 具有A64的可替代形式如下:

GRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCEGEQDKRLHCYASWANSSG
 TIELVKKG CWLDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLP
 EA (SEQ ID NO: 41)。

[0096] 在一些条件下,可产生在N-末端具有“SGR...”序列的蛋白质。编码人ActRIIB前体蛋白质的核酸序列如下:(Genbank条目NM_001106的核苷酸5-1543)(显示的序列提供位置64的丙氨酸,并且可经修饰以替代地提供精氨酸)

```
ATGACGGCGCCCTGGGTGGCCCTCGCCCTCCTCTGGGGATCGCTGTGGC
CCGGCTCTGGGCGTGGGGAGGCTGAGACACGGGAGTGCATCTACTACAA
CGCCAACTGGGAGCTGGAGCGCACCAACCAGAGCGGCCTGGAGCGCTGC
GAAGGCGAGCAGGACAAGCGGCTGCACTGCTACGCCCTCCTGGGCCAACA
GCTCTGGCACCATCGAGCTCGTGAAGAAGGGCTGCTGGCTAGATGACTT
CAACTGCTACGATAGGCAGGAGTGTGTGGCCACTGAGGAGAACCCCCAG
GTGTACTTCTGCTGCTGTGAAGGCAACTTCTGCAACGAGCGCTTCACTC
ATTTGCCAGAGGCTGGGGGCCCCGGAAGTCACGTACGAGCCACCCCCGAC
AGCCCCCACCCCTGCTCACGGTGCTGGCCTACTCACTGCTGCCCATCGGG
GGCCTTTCCCTCATCGTCCTGCTGGCCTTTTGGATGTACCGGCATCGCA
AGCCCCCCTACGGTCATGTGGACATCCATGAGGACCCTGGGCCTCCACC
ACCATCCCCCTCTGGTGGGCCTGAAGCCACTGCAGCTGCTGGAGATCAAG
GCTCGGGGGCGCTTTGGCTGTGTCTGGAAGGCCAGCTCATGAATGACT
TTGTAGCTGTCAAGATCTTCCCCTCCAGGACAAGCAGTCGTGGCAGAG
TGAACGGGAGATCTTCAGCACACCTGGCATGAAGCACGAGAACCTGCTA
CAGTTCATTGCTGCCGAGAAGCGAGGCTCCAACCTCGAAGTAGAGCTGT
GGCTCATCACGGCCTTCCATGACAAGGGCTCCCTCACGGATTACCTCAA
GGGGAACATCATCACATGGAACGAACTGTGTCTGTAGCAGAGACGATG
TCACGAGGCCTCTCATACCTGCATGAGGATGTGCCCTGGTGCCGTGGCG
AGGGCCACAAGCCGTCTATTGCCACAGGGACTTTAAAAGTAAGAATGT
ATTGCTGAAGAGCGACCTCACAGCCGTGCTGGCTGACTTTGGCTTGGCT
GTTGATTTGAGCCAGGGAAACCTCCAGGGGACACCCACGGACAGGTAG
GCACGAGACGGTACATGGCTCCTGAGGTGCTCGAGGGAGCCATCAACTT
CCAGAGAGATGCCTTCCTGCGCAITGACATGTATGCCATGGGGTTGGTG
CTGTGGGAGCTTGTGTCTCGCTGCAAGGCTGCAGACGGACCCGTGGATG
AGTACATGCTGCCCTTTGAGGAAGAGATTGGCCAGCACCCCTTCGTTGGA
GGAGCTGCAGGAGGTGGTGGTGCACAAGAAGATGAGGCCCAOCATTAAA
GATCACTGGTTGAAACACCCGGGCCTGGCCAGCTTTGTGTGACCATCG
AGGAGTGCTGGGACCATGATGCAGAGGCTCGCTTGTCCGCGGGCTGTGT
GGAGGAGCGGGTGTCCCTGATTCGGAGGTGGTCAACGGCACTACCTCG
GACTGTCTCGTTTCCCTGGTGACCTCTGTCAACCAATGTGGACCTGCCCC
CTAAAGASTCAAGCATCTAA (SEQ ID NO: 4)。
```

[0097] 编码人ActRIIB可溶性(细胞外)多肽的核酸序列如下(显示的序列提供位置64的丙氨酸,并且可经修饰以替代地提供精氨酸):

```
GGGCGTGGGGAGGCTGAGACACGGGAGTGCATCTACTACAACGCCAACT
GGGAGCTGGAGCGCACCAACCAGAGCGGCTGGAGCGCTGCGAAGGCGA
GCAGGACAAGCGGCTGCACTGCTACGGCTCCTGGGCGAACAGCTCTGGC
ACCATCGAGCTCGTGAAGAAGGGCTGCTGGCTAGATGACTTCAACTGCT
ACGATAGGCAGGAGTGTGTGGCCACTGAGGAGAACCCCCAGGTGTAATT
CTGCTGCTGTGAAGGCAACTTCTGCAACGAGCGCTTCACTCATTTGCCA
GAGGCTGGGGGCCCCGGAAGTCACGTACGAGCCACCCCCGACAGCCCCCA
CC (SEQ ID NO: 5)。
```

[0098] 在特定实施方案中,本发明涉及为变体形式的可溶性ActRIIB多肽的GDF捕获物多肽。本文所述的术语“可溶性ActRIIB多肽”通常指包含ActRIIB蛋白的胞外结构域的多肽。本文所用的术语“可溶性ActRIIB多肽”包括任何天然存在的ActRIIB蛋白的胞外结构域及保持有用活性的其任何变体(包括突变体、片段以及肽模拟物形式)。例如,ActRIIB蛋白的胞外结构域与配体结合,并通常是可溶性的。可溶性的ActRIIB多肽的实例包括ActRIIB可溶性多肽(例如,SEQ ID NOs: 2、3、7、11、26、28、29、32、37、38、40和41)。可溶性的ActRIIB多肽的其它实例除ActRIIB蛋白质的胞外结构域外还包含信号序列,参见实施例1。信号序列可以是ActRIIB的天然信号序列,或来自另一种蛋白质的信号序列,诸如组织型纤溶酶原激活剂(TPA)信号序列或蜜蜂蜂毒素(HBM)信号序列。

[0099] 本公开内容鉴定ActRIIB的功能活性部分和变体。申请人已确定,在相应于SEQ ID NO: 1的氨基酸64的位置具有丙氨酸(A64)的具有Hilden等人公开的序列的Fc融合蛋白(Blood. 1994 Apr 15;83(8):2163-70)具有相对低的对激活素和GDF-11的亲合力。相反,在位置64具有精氨酸(R64)的相同Fc融合蛋白对激活素和GDF-11具有在低纳摩尔至高皮摩尔范围的亲合力。因此,在本公开内容中,具有R64的序列用作对于人ActRIIB的野生型参考序列。

[0100] Attisano等人(Cell. 1992 Jan 10;68(1):97-108)显示,在ActRIIB的胞外结构域的C-末端脯氨酸结的缺失降低受体对激活素的亲合力。含有SEQ ID NO: 1的氨基酸20-119的ActRIIB-Fc融合蛋白“ActRIIB(20-119)-Fc”相对于ActRIIB(20-134)-Fc对GDF-11和激活素具有降低的结合,所述ActRIIB(20-134)-Fc包括脯氨酸结区域和完全近膜结构域。但是,ActRIIB(20-129)-Fc蛋白质相对于野生型保持类似但有些降低的活性,即使脯氨酸结区域受到破坏。因此,在氨基酸134、133、132、131、130和129终止的ActRIIB胞外结构域均期望是有活性的,但在134或133终止的构建体可最具活性。类似地,在残基129-134的任一的突变不期望大范围改变配体结合亲合力。对其支持的是,P129和P130的突变基本上不降低配体结合。因此,为ActRIIB-Fc融合蛋白的GDF捕获物多肽可在早至氨基酸109(最后的半胱氨酸)终止,但是终止于109和119或在109和119之间的形式期望具有降低的配体结合。氨基酸119是保守性差的并因此容易改变或截短的。终止于128或更后的形式保持配体结合活性。终止于119和127或119和127之间的形式将具有中等结合能力。这些形式中的任一可取决于临床或实验情况而期望于应用。

[0101] 在ActRIIB的N-末端,期望起始于氨基酸29或之前的蛋白质将保持配体结合活性。

氨基酸29代表初始半胱氨酸。在位置24的丙氨酸至天冬酰胺突变引入N-联糖基化序列,基本上不影响配体结合。这证实相应于氨基酸20-29的在信号切割肽和半胱氨酸交联区域之间的区域中的突变被充分耐受。特别地,起始于位置20、21、22、23和24的构建体将保持活性,并且起始于位置25、26、27、28和29的构建体也期望保持活性。实施例中显示的数据说明,令人惊讶地,起始于22、23、24或25的构建体将具有最大活性。

[0102] 总之,ActRIIB的活性部分包含SEQ ID NO: 1的氨基酸29-109,并且GDF捕获物构建体可例如包含起始于相应于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸 20-29的残基和终止于相应于SEQ ID NO: 1或39的氨基酸 109-134的位置的ActRIIB部分。其它实例包括起始于SEQ ID NO: 1或39的20-29或21-29的位置和终止于SEQ ID NO: 1或39的119-134、119-133、129-134或129-133的位置的构建体。其它实例包括起始于SEQ ID NO: 1或39的20-24 (或21-24或22-25)的位置和终止于SEQ ID NO: 1或39的109-134 (或109-133)、119-134 (或119-133)或129-134 (或129-133)的位置的构建体。也考虑这些范围内的变体,尤其是与SEQ ID NO: 1或39的相应部分具有至少80%、85%、90%、95%或99%同一性的那些。在某些实施方案中,GDF捕获物多肽包含具有与SEQ ID NO: 1或39的氨基酸残基25-131具有至少80%、85%、90%、95%、96%、97%、98%、99%或100%同一性的氨基酸序列的多肽,基本上由该多肽组成,或由该多肽组成。在某些实施方案中,GDF捕获物多肽包含具有与SEQ ID NOs: 7、26、28、29、32、37或38具有至少80%、85%、90%、95%、96%、97%、98%、99%或100%同一性的氨基酸序列的多肽,基本上由该多肽组成,或由该多肽组成。在优选的实施方案中,GDF捕获物多肽由SEQ ID NOs: 7、26、28、29、32、37或38的氨基酸序列组成,或基本上由其组成。

[0103] 本公开内容包括复合ActRIIB结构的分析结果,其在图1中显示,表明配体结合口袋由残基Y31、N33、N35、L38至T41、E47、E50、Q53至K55、L57、H58、Y60、S62、K74、W78至N83、Y85、R87、A92和E94至F101限定。在这些位置,期望保守的突变会被耐受(tolerated),尽管K74A突变被充分耐受,如R40A、K55A、F82A和位置L79的突变。R40在爪蟾属中是K,指示这一位置处的碱性氨基酸会被耐受。Q53在牛ActRIIB中是R和在爪蟾属ActRIIB中是K,并且因此包括R、K、Q、N和H的氨基酸会在这一位置被耐受。因此,用于GDF捕获物蛋白的通式是包含SEQ ID NO: 1或39的氨基酸29-109的那种,但任选在范围是20-24或22-25的位置开始,并在范围是129-134的位置终止,并且在配体结合口袋中包含不超过1、2、5、10或15个保守氨基酸改变,和在配体结合口袋中的位置40、53、55、74、79和/或82包含0、1或更多个非保守改变。这样的蛋白可以与SEQ ID NO: 1或39的氨基酸29-109的序列保持大于80%、90%、95%或99%的序列同一性。结合口袋外的位点(在该处可变性可特别充分耐受)包括胞外结构域的氨基和羧基末端(如上述),和位置42-46和65-73。在位置65的天冬酰胺至丙氨酸变化(N65A)实际上改进在A64背景中的配体结合,并且因此期望对R64背景中的配体结合不具有不利作用。这一变化有可能消除A64背景中N65处的糖基化,因此表明这一区域中的显著变化可能被耐受。虽然R64A变化耐受差,但R64K被充分耐受,并且因此另一种碱性残基如H可在位置64被耐受。

[0104] ActRIIB在几乎所有脊椎动物中是充分保守的,其中大部分胞外结构域完全保守。结合ActRIIB的许多配体也是高度保守的。因此,来自各种脊椎动物生物体的ActRIIB序列的比较提供对可改变的残基的洞察。因此,用作GDF捕获物的活性人ActRIIB变体多肽可包括在与另一脊椎动物ActRIIB的序列相应的位置的一个或多个氨基酸,或可包括类似于人

或其它脊椎动物序列中的残基。下列实例说明确定活性ActRIIB变体的这一方法。L46在爪蟾属ActRIIB中是缬氨酸,并且因此这一位置可改变和任选地可改变为另一疏水残基诸如V、I或F,或非极性残基诸如A。E52在爪蟾属中是K,指示这一位点可耐受多种变化,包括极性残基诸如E、D、K、R、H、S、T、P、G、Y和可能地A。T93在爪蟾属中是K,指示宽泛的结构变异在这一位置被耐受,极性残基是有利的,诸如S、K、R、E、D、H、G、P、G和Y。F108在爪蟾属中是Y,并且因此Y或其它疏水性基团诸如I、V或L应当耐受。E111在爪蟾属中是K,指示带电残基会在这一位置耐受,包括D、R、K和H,以及Q和N。R112在爪蟾属中是K,指示碱性残基在这一位置耐受,包括R和H。位置119的A是相对保守性差的,并且在啮齿动物中表现为P和在爪蟾属中表现为V,因此基本上任何氨基酸应当在这一位置耐受。

[0105] 本公开内容说明另外N-联糖基化位点(N-X-S/T)的添加相对于ActRIIB(R64)-Fc形式增加ActRIIB-Fc融合蛋白的血清半衰期。通过在位置24引入天冬酰胺(A24N构建体),产生可以赋予较长半衰期的NXT序列。其它NX(T/S)序列在42-44(NQS)和65-67(NSS)发现,尽管后者可不以位置64的R有效糖基化。N-X-S/T序列可通常在图1中限定的配体结合口袋外的位置引入。用于引入非内源性N-X-S/T序列的特别合适的位点包括氨基酸20-29、20-24、22-25、109-134、120-134或129-134。N-X-S/T序列可也引入ActRIIB序列和Fc或其它融合体组分间的接头。这种位点可以最小努力引入,通过在相对于预先存在的S或T的正确位置引入N,或通过在相应于预先存在的N的位置引入S或T。因此,会产生N-联糖基化位点的期望的变化是:A24N、R64N、S67N(可能与N65A变化组合)、E106N、R112N、G120N、E123N、P129N、A132N、R112S和R112T。预测被糖基化的任何S可改变为T,而不产生免疫原性位点,这是因为糖基化提供的保护。同样,预测被糖基化的任何T可改变为S。因此,考虑变化S67T和S44T。同样,在A24N变体中,可应用S26T变化。因此,GDF捕获物可为具有一个或多个额外的非内源性N-联糖基化共有序列的ActRIIB变体。

[0106] ActRIIB的位置L79可改变以赋予改变的激活素-筒箭毒碱(GDF-11)结合特性。与激活素结合相比,L79P更大程度地降低GDF-11结合。L79E或L79D保持GDF-11结合。显著地,L79E和L79D变体具有大大降低的激活素结合。体内实验表明这些非激活素受体保持增加红细胞的显著能力,但对其它组织显示降低效果。这些数据说明用于获得对激活素具有降低效果的多肽的期望性和可行性。在示例性实施方案中,本文描述的方法利用为变体ActRIIB多肽的GDF捕获物多肽,其在相应于SEQ ID NO: 1或39的位置79的位置包含酸性氨基酸(例如D或E),任选地组合一个或多个额外的氨基酸取代、添加或缺失。

[0107] 描述的变异可以各种方式组合。另外地,本文描述的诱变程序的结果表明在ActRIIB中存在通常有益于保守的氨基酸序列。这些包括位置64(碱性氨基酸)、位置80(酸性或疏水性氨基酸)、位置78(疏水性,并且尤其是色氨酸)、位置37(酸性,并且尤其是天冬氨酸或谷氨酸)、位置56(碱性氨基酸)、位置60(疏水性氨基酸,尤其是苯丙氨酸或酪氨酸)。因此,在本文公开的每一变体中,本公开内容提供可为保守的氨基酸的构架。可期望保守的其它位置如下:位置52(酸性氨基酸)、位置55(碱性氨基酸)、位置81(酸性)、98(极性 or 带电的,尤其是E、D、R或K)。

[0108] 在某些实施方案中,ActRIIB多肽的分离片段可通过筛选从编码ActRIIB多肽的核酸(例如,SEQ ID NOs: 4和5)的相应片段重组产生的多肽获得。此外,可采用本领域已知技术(诸如常规的Merrifield固相f-Moc或t-Boc化学)来化学合成片段。可(重组或通过化学

合成)产生片段并进行测试,以鉴定能够充当例如ActRIIB蛋白或ActRIIB配体的拮抗剂(抑制剂)或激动剂(激活剂)的那些肽基片段。

[0109] 在某些实施方案中,GDF捕获物多肽是具有与选自SEQ ID NO: 2、3、7、11、26、28、29、32、37、38、40或41的氨基酸序列具有至少75%同一性的氨基酸序列的变体ActRIIB多肽。在某些情况下,该GDF捕获物具有与选自SEQ ID NO: 2、3、7、11、26、28、29、32、37、38、40或41的氨基酸序列有至少80%、85%、90%、95%、97%、98%、99%或100%同一性的氨基酸序列。在某些实施方案中,GDF捕获物包含与选自SEQ ID NO: 2、3、7、11、26、28、29、32、37、38、40或41的氨基酸序列有至少80%、85%、90%、95%、97%、98%、99%或100%同一性的氨基酸序列,基本上由该氨基酸序列组成,或由该氨基酸序列组成,其中相应于SEQ ID NO: 1的L79的位置是酸性氨基酸(例如D或E氨基酸残基)。

[0110] 在某些实施方案中,本发明考虑通过修饰GDF捕获物多肽的结构来制备功能变体,目的是增强疗效或稳定性(例如,先体外后体内(ex vivo)保质期以及对体内蛋白水解降解的抗性)。GDF捕获物多肽还可通过氨基酸取代、缺失或添加来产生。例如,可以合理预期单独以异亮氨酸或缬氨酸取代亮氨酸、以谷氨酸取代天冬氨酸、以丝氨酸取代苏氨酸或以结构相关氨基酸进行的类似氨基酸取代(例如,保守突变)将不对所得分子的生物活性产生较大的影响。保守取代是发生在其侧链相关的氨基酸家族内的那些取代。在GDF捕获物多肽的氨基酸序列中的改变是否导致产生功能性变体可通过评估GDF捕获物多肽相对于未修饰的GDF捕获物多肽或野生型ActRIIB多肽在细胞中产生应答或与未修饰的GDF捕获物多肽或野生型ActRIIB多肽比较结合一种或多种配体诸如激活素、GDF-11或筒箭毒碱的能力容易地测定。

[0111] 在某些特定实施方案中,本发明考虑在ActRIIB多肽的胞外结构域(也称为配体-结合结构域)中进行突变,从而使得ActRIIB多肽具有改变的配体-结合活性(例如,结合亲和力或结合特异性)。在某些情况下,此类GDF捕获物多肽具有对特定配体的改变的(提高的或降低的)结合亲和力。在其它情况下,GDF捕获物多肽对ActRIIB配体具有改变的结合特异性。

[0112] 例如,本公开内容提供相对于激活素优先结合GDF8/GDF11的GDF捕获物多肽。本公开内容进一步确立此类多肽降低脱靶效果的期望性,尽管此类选择性变体对于治疗严重疾病可为较不期望的,在该严重疾病中,非常大的红细胞水平增长对于治疗效果可以是需要的并且其中一些水平的脱靶效果是可接受的。例如,ActRIIB蛋白质的氨基酸残基诸如E39、K55、Y60、K74、W78、D80和F101在配体-结合口袋中并介导与其配体诸如激活素和GDF8结合。因此,本发明提供包含ActRIIB受体的改变的配体-结合结构域(例如,GDF8-结合结构域)的GDF捕获物,其包含在那些氨基酸残基处的一个或多个突变。任选地,相对于ActRIIB受体的野生型配体-结合结构域,改变的配体-结合结构域对配体诸如GDF8可以具有增加的选择性。为了举例说明,这些突变增加改变的配体-结合结构域相对于激活素对GDF8的选择性。任选地,改变的配体-结合结构域具有的用于激活素结合的 K_d 与用于GDF8结合的 K_d 的比相对于野生型配体-结合结构域的比为至少2、5、10或甚至100倍高。任选地,改变的配体-结合结构域具有的用于抑制激活素的 IC_{50} 与用于抑制GDF8的 IC_{50} 的比相对于野生型配体-结合结构域为至少2、5、10或甚至100倍高。任选地,改变的配体-结合结构域以与用于抑制激活素的 IC_{50} 相比至少2、5、10或甚至100倍低的 IC_{50} 抑制GDF8。

[0113] 作为一个具体实例,ActRIIB的配体-结合结构域的带正电氨基酸残基Asp (D80) 可以突变为不同氨基酸残基,以产生优先结合GDF8而不是激活素的GDF捕获物多肽。优选地,D80残基变化为选自下列的氨基酸残基:不带电氨基酸残基,负电氨基酸残基和疏水性氨基酸残基。作为一个进一步具体实例,疏水性残基L79可以改变为酸性氨基酸天冬氨酸或谷氨酸,以大大降低激活素结合同时保持GDF11结合。如本领域技术人员将认识到的,大多数描述的突变、变体或修饰可在核酸水平或在一些情况下通过翻译后修饰或化学合成进行。此类技术是本领域众所周知的。

[0114] 在某些实施方案中,本发明考虑在ActRIIB中具有特定突变的GDF捕获物多肽,从而改变ActRIIB多肽的糖基化。GDF捕获物多肽中的示例性糖基化位点在图1中举例说明(例如,下划线NX (S/T) 位点)。可对此类突变进行选择,以便引入或消除一个或多个糖基化位点,诸如O-联或N-联糖基化位点。天冬酰胺-联的糖基化识别位点通常包含三肽序列,即天冬酰胺-X-苏氨酸(其中“X”为任何氨基酸),其被适当的细胞糖基化酶特异性识别。还可通过对野生型ActRIIB多肽序列进行一个或多个丝氨酸或苏氨酸残基的添加或取代(对于O-联糖基化位点)来进行改变。在糖基化识别位点的第一或第三氨基酸位置之一或两者进行的多种氨基酸取代或缺失(和/或在第二位的氨基酸缺失)导致在修饰的三肽序列处的非糖基化。增加GDF捕获物多肽上的碳水化合物部分的数量的一种方式是通过将糖苷化学或酶促偶联至GDF捕获物多肽。根据所用的偶联模式,糖可被连接至(a) 精氨酸和组氨酸;(b) 游离羧基基团;(c) 游离巯基基团,诸如半胱氨酸的那些;(d) 游离羟基基团,诸如丝氨酸、苏氨酸或羟脯氨酸的那些;(e) 芳族残基,诸如苯丙氨酸、酪氨酸或色氨酸的那些;或者(f) 谷氨酰胺中的酰胺基团。这些方法描述在WO 87/05330和Aplin和Wriston (1981) CRC Crit. Rev. Biochem., pp. 259-306中,其通过引用并入本文。可化学和/或酶促实现将存在于GDF捕获物多肽上的一个或多个碳水化合物部分去除。化学去糖基化可涉及,例如,将GDF捕获物多肽暴露至化合物三氟甲磺酸或等同的化合物。该处理导致除了连接糖(N-乙酰葡萄糖胺或N-乙酰半乳糖胺)以外大部分或全部糖的裂解,同时保持氨基酸序列完整。化学去糖基化进一步由Hakimuddin等人(1987) Arch. Biochem. Biophys. 259:52和 Edge等人(1981) Anal. Biochem. 118:131描述。GDF捕获物多肽上的碳水化合物部分的酶促裂解可通过采用Thotakura等人(1987) Meth. Enzymol. 138:350所述的多种内切和外切糖苷酶来实现。适当时,GDF捕获物多肽的序列可根据所用表达系统的类型进行调整,因为哺乳动物、酵母、昆虫和植物细胞均可引入可受到肽的氨基酸序列影响的不同的糖基化模式。一般而言,用于人类的GDF捕获物多肽会在提供适当糖基化的哺乳动物细胞系(诸如HEK293或CHO细胞系)中表达,尽管其它哺乳动物表达细胞系也预期有用。

[0115] 本公开内容进一步考虑生成变体的方法,特别是生成GDF捕获物多肽的组合变体组、包含任选地截短变体的方法;组合突变体集合对于鉴定GDF捕获物序列特别有用。筛选此类组合文库的目的可以是生成例如具有改变的特性,诸如改变的药代动力学或改变的配体结合的GDF捕获物多肽变体。下文提供了多种筛选测定,此类测定可用于评估变体。例如,可针对结合ActRIIB多肽、防止ActRIIB配体与ActRIIB多肽结合或者干扰ActRIIB配体引起的信号传导的能力筛选GDF捕获物多肽变体。

[0116] GDF捕获物多肽或其变体的活性也可在基于细胞的测定或体内测定中进行测试。例如,可以评估GDF捕获物多肽变体对参与血细胞生成的基因的表达的作用。根据需要,这

可以在一种或多种重组ActRIIB配体蛋白(例如激活素)的存在下进行,且可转染细胞以产生GDF捕获物多肽和/或其变体,以及任选地ActRIIB配体。同样地,可给小鼠或其它动物施用GDF捕获物多肽,并可应用本领域公认方法评估一种或多种血液测量值,诸如RBC计数、血红蛋白水平、血细胞比容水平、铁储存或网织红细胞计数。

[0117] 可生成相对于参考GDF捕获物多肽具有选择性效力的组合衍生的变体。此类变体蛋白质当从重组DNA构建体表达时可以应用在基因治疗方案中。同样地,诱变可以产生变体,该变体的胞内半衰期明显不同于相应的未修饰的GDF捕获物多肽。例如,改变的蛋白可变得对于蛋白水解降解或导致未修饰的GDF捕获物多肽破坏或以其它方式失活的其它过程更加稳定或更加不稳定。此类变体以及编码它们的基因可用于通过调节GDF捕获物多肽的半衰期来改变GDF捕获物多肽水平。例如,短的半衰期可以产生更为短暂的生物效应,并且,当可诱导的表达系统的部分时,可允许对细胞中重组GDF捕获物多肽水平的更紧密控制。在Fc融合蛋白中,可在接头(如有)和/或Fc部分进行突变以改变该蛋白的半衰期。

[0118] 在某些实施方案中,除ActRIIB多肽中天然存在的任何修饰之外,本发明的GDF捕获物多肽可进一步包括翻译后修饰。此类修饰包括,但不限于,乙酰化、羧化、糖基化、磷酸化、脂化和酰化。其结果是,GDF捕获物多肽可包含非氨基酸元件,诸如聚乙二醇、脂质、多糖或单糖以及磷酸酯。此类非氨基酸元件对GDF捕获物多肽功能性的作用可按照本文针对其它GDF捕获物多肽变体描述地进行测试。当GDF捕获物多肽通过裂解GDF捕获物多肽的新生形式在细胞中产生时,翻译后加工也可能对蛋白正确的折叠和/或功能是重要的。不同的细胞(诸如CHO、HeLa、MDCK、293、WI38、NIH-3T3或HEK293)对此类翻译后活性具有特异性的细胞机(cellular machinery)和特征机制,并可以进行选择以确保GDF捕获物多肽的正确修饰和加工。

[0119] 在某些方面,GDF捕获物多肽包括具有ActRIIB多肽的至少一部分和一个或多个融合结构域的融合蛋白。此类融合结构域的众所周知的实例包括,但不限于,聚组氨酸、Glu-Glu、谷胱甘肽S转移酶(GST)、硫氧还蛋白、蛋白A、蛋白G、免疫球蛋白重链恒定区(例如,Fc)、麦芽糖结合蛋白(MBP)或人血清白蛋白。可选择融合结构域来赋予所需的特性。例如,一些融合结构域对于通过亲和层析分离该融合蛋白特别有用。针对亲和纯化的目的,使用亲和层析的相关基质,诸如谷胱甘肽-、淀粉酶-、以及镍-或钴-缀合的树脂。此类基质中许多可以“试剂盒”形式获得,诸如Pharmacia GST纯化系统和可与(HIS₆)融合配偶体一起使用的QIA表达™系统(Qiagen)。作为另一实例,可选择融合结构域以促进GDF捕获物多肽的检测。此类检测结构域的实例包括各种荧光蛋白(例如,GFP)以及“表位标记”,其通常为能够获得特异性抗体的短肽序列。可容易地获得特异性单克隆抗体的众所周知表位标签包括FLAG、流感病毒血细胞凝集素(HA)和c-myc标签。在一些情况下,融合结构域具有蛋白酶切割位点,诸如对于Xa因子或凝血酶,其允许相关的蛋白酶部分消化该融合蛋白,从而由其释放重组蛋白。该释放的蛋白可随后通过后续的层析分离从该融合结构域分离出来。在某些优选实施方案中,GDF捕获物多肽与在体内稳定GDF捕获物多肽的结构域(“稳定剂”结构域)相融合。“稳定”表示增加血清半衰期的任何情况,而不论它是由破坏减少、肾清除率降低或其它药代动力学作用所引起。与免疫球蛋白的Fc部分的融合体已知能对多种蛋白赋予所需药代动力学特性。同样地,与人血清白蛋白的融合体可赋予期望的特性。可选择的其它融合结构域类型包括多聚化(例如,二聚化、四聚化)结构域和功能性结构域(其赋予附加的生物

功能,诸如进一步增加红细胞水平)。

[0120] 作为一个特定实例,本发明提供了GDF捕获物,其为ActRIIB-Fc融合蛋白,包含与Fc结构域融合的ActRIIB多肽的胞外(例如配体-结合)结构域。示例性Fc结构域的序列如下所示(SEQ ID NO: 6)。

```
THTCPPFCPAPELLGGFSVFLFPPKPKDTLMISRTPEVTCVVVD(A) VSHEDFEVKFNWYVDG  
VEVHNAKTKFREEQYNSTYRVVSVLTVLHQDWLNGKEYECK(A) VSNKALPVPPIEKTKAK  
GQPREPQVYTLPPSREEMTKNQVSLTCLVKGFYPSDIAVEWESNGQPENNYKTTTPFVLDSDG  
PFFLYSKLTVDKSRWQQGNVFSCSVMHEALHN(A) HYTQKSLSLSPGK*
```

[0121] 任选地,Fc结构域在残基诸如Asp-265、赖氨酸322和Asn-434具有一个或多个突变。在某些情况下,具有一个或多个这些突变(例如Asp-265突变)的突变体Fc结构域与Fc γ 受体的结合能力相对于野生型Fc结构域下降。在其它情况下,具有一个或多个这些突变(例如Asn-434突变)的突变体Fc结构域与I类MHC相关的Fc受体(FcRN)的结合能力相对于野生型Fc结构域上升。

[0122] 可以理解该融合蛋白的不同元件可以与所需功能性一致的任何方式排列。例如,GDF捕获物多肽可置于异源结构域的C-末端,或者替代地,异源结构域可置于GDF捕获物多肽的C-末端。该GDF捕获物多肽结构域和该异源结构域无需在融合蛋白中相邻,并且在任一结构域的C-或N-末端或者在结构域之间可包含另外的结构域或氨基酸序列。

[0123] 在某些实施方案中,GDF捕获物融合蛋白包含式A-B-C显示的氨基酸序列。B部分是N-和C-末端截短的ActRIIB多肽,由相应于SEQ ID NO: 26的氨基酸26-132的氨基酸序列组成。A和C部分可独立为0、1个或多于1个氨基酸,并且A和C部分在存在时对B都是异源的。A和/或C部分可经由接头序列与B部分连接。示例性接头包括短多肽接头诸如2-10、2-5、2-4、2-3个甘氨酸残基,诸如,例如,Gly-Gly-Gly接头。其它适当的接头在本文上述。在某些实施方案中,GDF捕获物融合蛋白包含式A-B-C中列出的氨基酸序列,其中A是前导序列,B由SEQ ID NO: 26的氨基酸26-132组成并且C是增强体内稳定性、体内半衰期、摄取/施用、组织定位或分布、蛋白质复合体形成和/或纯化中的一种或多种的多肽部分。在某些实施方案中,GDF捕获物融合蛋白包含式A-B-C中列出的氨基酸序列,其中A是TPA前导序列,B由SEQ ID NO: 26的氨基酸26-132组成,并且C是免疫球蛋白Fc结构域。优选的GDF捕获物融合蛋白包含SEQ ID NO: 26中列出的氨基酸序列。

[0124] 在某些实施方案中,本发明的GDF捕获物多肽包含能够稳定该GDF捕获物多肽的一种或多种修饰。例如,此类修饰提高GDF捕获物多肽的体外半衰期,提高GDF捕获物多肽的循环半衰期或减少GDF捕获物多肽的蛋白水解降解。此类稳定化修饰包括,但不限于,融合蛋白(包括,例如,包含GDF捕获物多肽和稳定剂结构域的融合蛋白)、糖基化位点的修饰(包括,例如,向GDF捕获物多肽添加糖基化位点)以及碳水化合物部分的修饰(包括,例如,从GDF捕获物多肽除去碳水化合物部分)。在融合蛋白的情况下,GDF捕获物多肽融合于稳定剂结构域诸如IgG分子(例如Fc结构域)。本文所用的术语“稳定剂结构域”不仅指融合蛋白情况下的融合结构域(例如Fc),还包括非蛋白质修饰,诸如碳水化合物部分,或非蛋白质聚合物,诸如聚乙二醇。

[0125] 在某些实施方案中,本发明使得可以获得GDF捕获物多肽的分离和/或纯化形式,

其分离自其它蛋白,或者以其它方式基本不含其它蛋白。

[0126] 在某些实施方案中,本发明的GDF捕获物多肽(未修饰的或修饰的)可以通过各种众所周知技术产生。例如,此类GDF捕获物多肽可以应用标准蛋白质化学技术合成,诸如在Bodansky, M. Principles of Peptide Synthesis, Springer Verlag, Berlin (1993)和Grant G. A. (ed.), Synthetic Peptides: A User's Guide, W. H. Freeman and Company, New York (1992)中描述的那些。此外,自动肽合成仪是可商购的(例如,Advanced ChemTech Model 396; Milligen/Biosearch 9600)。或者,GDF捕获物多肽、其片段或变体可应用本领域众所周知的各种表达系统(例如,大肠杆菌、中国仓鼠卵巢(CHO)细胞、COS细胞、杆状病毒)重组产生。在进一步实施方案中,修饰的或未修饰的GDF捕获物多肽可通过应用例如蛋白酶,例如胰蛋白酶、嗜热菌蛋白酶、糜蛋白酶、胃蛋白酶或配对碱性氨基酸转换酶(PACE)消化重组产生的全长GDF捕获物多肽产生。计算机分析(应用可购得的软件,例如MacVector, Omega, PCGene, Molecular Simulation, Inc.)可以用于鉴定蛋白水解切割位点。或者,此类GDF捕获物多肽可从重组产生的全长GDF捕获物多肽产生,诸如本领域已知的标准技术,诸如通过化学裂解(例如,溴化氰、羟胺)。

[0127] 3. 编码 GDF捕获物多肽的核酸

在某些方面,本发明提供了编码本文公开的任何GDF捕获物多肽的分离和/或重组核酸。SEQ ID NO: 4编码天然存在的ActRIIB前体多肽,而SEQ ID NO: 5编码可溶性ActRIIB多肽,且SEQ ID NOs: 25、27、30和31编码可溶性GDF捕获物。所述主题核酸可以是单链的或是双链的。此类核酸可以是DNA或RNA分子。这些核酸可以在,例如,制备GDF捕获物多肽的方法中使用,或者作为直接的治疗剂(例如在基因治疗方法中)使用。

[0128] 在某些方面,编码GDF捕获物多肽的主题核酸应进一步理解为包括作为SEQ ID NOs: 5、25、27、30和31的变体的核酸。变体核苷酸序列包括变化一个或多个核苷酸取代、添加或缺失的序列,诸如等位基因变体;并将因此包括不同于在SEQ ID NOs: 5、25、27、30和31中指定的编码序列的核苷酸序列的编码序列。

[0129] 在某些实施方案中,本发明提供了与SEQ ID NO: 5、25、27、30或31具有至少80%、85%、90%、95%、97%、98%、99%或100%同一性的分离或重组核酸序列。本领域普通技术人员将能理解:与SEQ ID NO: 5、25、27、30或31互补的核酸序列,以及SEQ ID NO: 5、25、27、30或31的变体同样在本发明的范围之内。在进一步的实施方案中,本发明的核酸序列可以是分离的、重组的和/或与异源核苷酸序列融合,或者在DNA文库中。

[0130] 在其它实施方案中,本发明的核酸还包括在高度严格的条件下与SEQ ID NO: 5、25、27、30或31所示的核苷酸序列,SEQ ID NO: 5、25、27、30或31的互补序列或其片段杂交的核苷酸序列。如上文所讨论的,本领域普通技术人员将容易理解,促进DNA杂交的合适的严格条件是可以改变的。例如,可在6.0 x 氯化钠/柠檬酸钠(SSC)、约45℃下进行杂交,然后在2.0 x SSC、50℃下洗涤。例如,洗涤步骤中的盐浓度可从低严格性的约2.0 x SSC、50℃至高严格性的约0.2 x SSC、50℃中选择。此外,洗涤步骤中的温度可从低严格性条件的室温,即约22℃上升至高严格条件的约65℃。温度和盐可都改变,或者可将温度或盐浓度保持恒定,而改变其它变量。在一个实施方案中,本发明提供以下核酸:其在6 x SSC、室温的低严格条件下杂交,然后在2 x SSC、室温下洗涤。

[0131] 由于遗传密码的简并性而不同于SEQ ID NO: 5、25、27、30或31所示核酸的分离的

核酸也在本发明的范围内。例如,许多氨基酸由一个以上的三联体密码所指定。指定相同氨基酸的密码子,或称同义密码子(synonym)(例如,CAU和CAC为组氨酸的同义密码子)可导致不影响蛋白氨基酸序列的“沉默”突变。在某些实施方案中,GDF捕获物多肽将由替代核苷酸序列编码。替代核苷酸序列相对于天然GDF捕获物核酸序列是简并的(degenerate),但仍编码相同融合蛋白。在某些实施方案中,具有SEQ ID NO: 26的GDF捕获物由包含SEQ ID NO: 30的替代核苷酸序列编码。然而,预期在哺乳动物细胞中存在确实导致主题蛋白的氨基酸序列改变的DNA序列多态性。本领域技术人员将能理解:在编码特定蛋白的核酸中一个或多个核苷酸(最多约3-5%的核苷酸)的这些变异可能由于天然等位基因变异而在特定物种的个体中存在。任一和全部这些核苷酸变异以及由此产生的氨基酸多态性均在本发明的范围之内。

[0132] 在某些实施方案中,本发明的重组核酸可以在表达构建体中可操作地连接至一种或多种调节性核苷酸序列。调节性核苷酸序列通常适合用于表达的宿主细胞。本领域已知用于多种宿主细胞的多种类型的合适的表达载体以及合适的调节序列。所述一种或多种调节核苷酸序列通常可包括,但不限于,启动子序列、前导或信号序列、核糖体结合位点、转录起始和终止序列、翻译起始和终止序列以及增强子或激活子序列。本发明也考虑本领域已知的组成型或诱导型启动子。所述启动子可以是天然存在的启动子,或者是组合一个以上启动子的元件的杂合启动子。表达构建体可存在于细胞中的附加体(诸如质粒)上,或者表达构建体可插入染色体中。在优选的实施方案中,表达载体包含可选择标记基因,从而允许选择转化的宿主细胞。可选择标记基因已为本领域众所周知,并将随所用的宿主细胞而不同。

[0133] 在本发明的某些方面,在表达载体中提供主题核酸,所述表达载体包含编码GDF捕获物多肽并可操作地连接于至少一种调节序列的核苷酸序列。调节序列已为本领域所了解,并选择用于指导GDF捕获物多肽的表达。因此,术语调节序列包括启动子、增强子以及其它表达控制元件。示例性的调节序列描述于Goeddel;*Gene Expression Technology: Methods in Enzymology*, Academic Press, San Diego, CA (1990)。例如,在与DNA序列可操作地连接时控制该DNA序列表达的多种表达控制序列中的任何一种可用于这些载体中,以表达编码GDF捕获物多肽的DNA序列。此类有用的表达控制序列包括,例如,SV40的早期和晚期启动子、tet启动子、腺病毒或巨细胞病毒立即早期启动子、RSV启动子、lac系统、trp系统、TAC或TRC系统、由T7 RNA聚合酶指导表达的T7启动子、噬菌体λ的主要操纵子和启动子区、fd外壳蛋白的控制区、3-磷酸甘油酸酯激酶或其它糖酵解酶的启动子、酸性磷酸酶的启动子,例如Pho5、酵母α-交配因子的启动子、杆状病毒系统的多角体启动子(polyhedron promoter)以及已知控制原核或真核细胞或其病毒的基因表达的其它序列,及其各种组合。应当理解,表达载体的设计可取决于诸如待转化宿主细胞的选择和/或需要表达的蛋白类型等因素。此外,还应考虑载体的拷贝数、控制拷贝数的能力以及由该载体编码的任何其它蛋白(诸如抗生素标记)的表达。

[0134] 本发明的重组核酸可通过将克隆的基因或其部分连接至适于在原核细胞、真核细胞(酵母、禽类、昆虫或哺乳动物)或两者中表达的载体中而产生。产生重组GDF捕获物多肽的表达载体包括质粒和其它载体。例如,合适的载体包括如下类型的质粒:用于在原核细胞(诸如大肠杆菌)中表达的pBR322-衍生的质粒、pEMBL-衍生的质粒、pEX-衍生的质粒、

pBTac⁻衍生的质粒以及pUC⁻衍生的质粒。

[0135] 一些哺乳动物表达载体同时包含促进载体在细菌中繁殖的原核序列和一种或多种在真核细胞中表达的真核转录单位。pcDNA1/amp、pcDNA1/neo、pRc/CMV、pSV2gpt、pSV2neo、pSV2-dhfr、pTk2、pRSVneo、pMSG、pSVT7、pko-neo和pHyg衍生的载体是适于真核细胞转染的哺乳动物细胞表达载体的实例。这些载体中的一些用来自细菌质粒(诸如pBR322)的序列进行修饰,以促进在原核和真核细胞两者中的复制和药物抗性选择。或者,病毒的衍生物诸如牛乳头瘤病毒(BPV-1)或EB病毒(pHEBo、pREP-衍生的和p205)可用于真核细胞中蛋白的瞬时表达。其它病毒(包括逆转录病毒)表达系统的实例可在下文有关基因治疗递送系统的描述中找到。用于制备质粒和转化宿主生物的各种方法为本领域众所周知。对于其它合适的原核和真核细胞表达系统以及一般的重组程序,参见*Molecular Cloning A Laboratory Manual*, 第2版, Sambrook, Fritsch 和Maniatis编辑 (Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989) 第16和17章。在一些情况下,可能需要采用杆状病毒表达系统来表达重组多肽。此类杆状病毒表达系统的实例包括pVL-衍生的载体(诸如pVL1392、pVL1393和pVL941)、pAcUW-衍生的载体(诸如pAcUW1)以及pBlueBac-衍生的载体(诸如含 β -gal的pBlueBac III)。

[0136] 在优选的实施方案中,将设计用于在CHO细胞中产生主题GDF捕获物多肽的载体,诸如Pcmv-Script载体(Stratagene, La Jolla, Calif.)、pcDNA4载体(Invitrogen, Carlsbad, Calif.)和pCI-neo载体(Promega, Madison, Wisc.)。显而易见地,该主题基因构建体可用于引起该主题GDF捕获物多肽在培养物中繁殖的细胞中表达,例如,以产生蛋白,包括融合蛋白或变体蛋白,用于纯化。

[0137] 本发明还涉及用包含一种或多种主题GDF捕获物多肽的编码序列(例如,SEQ ID NO: 4、5、25、27、30或31)的重组基因转染的宿主细胞。所述宿主细胞可以是任何原核或真核细胞。例如,本发明的GDF捕获物多肽可在细菌细胞诸如大肠杆菌、昆虫细胞(例如采用杆状病毒表达系统)、酵母或哺乳动物细胞中表达。其它合适的宿主细胞已为本领域技术人员所知。

[0138] 因此,本发明进一步涉及产生主题GDF捕获物多肽的方法。例如,用编码GDF捕获物多肽的表达载体转染的宿主细胞可在适当条件下培养,以允许发生该GDF捕获物多肽的表达。所述GDF捕获物多肽可被分泌并从细胞和含有该GDF捕获物多肽的培养基的混合物中分离。或者,GDF捕获物多肽可保留在细胞质内或者在膜级份中,收获、裂解该细胞并分离蛋白。细胞培养物包括宿主细胞、培养基和其它副产物。细胞培养的合适培养基为本领域众所周知。该主题GDF捕获物多肽可从细胞培养基、宿主细胞或两者中采用本领域已知的用于纯化蛋白的技术分离,该技术包括离子交换层析、凝胶过滤层析、超滤、电泳、用GDF捕获物多肽的特定表位的特异性抗体进行的免疫亲和纯化。在优选的实施方案中,GDF捕获物多肽是包含促进其纯化的结构域的融合蛋白。

[0139] 在另一个实施方案中,编码纯化前导序列(诸如在重组GDF捕获物多肽的所需部分的N末端的聚组氨酸/肠激酶切割位点序列)的融合基因,可允许通过采用 Ni^{2+} 金属树脂的亲亲和层析来纯化表达的融合蛋白。然后该纯化前导序列可通过肠激酶处理而去除,以提供纯化的GDF捕获物多肽(例如,参见Hochuli等人,(1987) *J. Chromatography* 411:177; 和Janknecht等人, *PNAS USA* 88:8972)。

[0140] 制备融合基因的技术是众所周知的。本质上,根据常规技术,采用平端或交错端(stagger-ended)的用于连接的末端,限制酶消化以提供合适的末端,根据需要补平粘端,碱性磷酸酶处理以避免不期望的连接,并且酶促连接,进行编码不同多肽序列的各种DNA片段的连接。在另一个实施方案中,融合基因可通过常规技术包括自动化DNA合成仪来合成。或者,可使用在两个连续基因片段之间产生互补突出端的锚定引物进行基因片段的PCR扩增,此两个连续基因片段随后可退火形成嵌合基因序列(例如,参见*Current Protocols in Molecular Biology*, Ausubel等人编辑, John Wiley & Sons: 1992)。

[0141] 4. 筛选测定

在某些方面,本发明涉及主题GDF捕获物多肽(例如,可溶性变体 ActRIIB 多肽)用于鉴定作为ActRIIB 多肽的激动剂或拮抗剂的化合物(试剂)的用途。可测试通过该筛选所鉴定的化合物,以评估它们在体内或体外调节红细胞、血红蛋白和/或网织红细胞水平的能力。这些化合物可以在,例如,动物模型中测试。

[0142] 有多种方法筛选通过靶向ActRIIB信号传导来提高红细胞或血红蛋白水平的治疗剂。在某些实施方案中,可进行化合物的高通量筛选,从而鉴定在选定的细胞系上干扰ActRIIB-介导的作用的试剂。在某些实施方案中,实施该测定以筛选并鉴定特异性抑制或减少ActRIIB多肽与其结合配偶体,诸如ActRIIB配体(例如,激活素、Nodal、GDF8、GDF11或BMP7)的结合的化合物。或者,该测定可用于鉴定增加ActRIIB多肽与其结合配偶体诸如ActRIIB配体的结合的化合物。在进一步的实施方案中,化合物可通过其与ActRIIB多肽相互作用的能力来鉴定。

[0143] 多种测定形式可满足需要,且然而,根据本公开内容,未在本文明确描述的测定可被本领域普通技术人员所理解。如本文所述,本发明的测试化合物(试剂)可通过任何组合的化学方法生成。或者,该主题化合物可以是在体内或体外合成的天然存在的生物分子。待测试其充当组织生长调节剂的能力的化合物(试剂)可通过,例如,细菌、酵母、植物或其它生物产生(例如,天然产物),通过化学方法产生(例如,小分子,包括肽模拟物)或重组产生。本发明考虑的测试化合物包括非肽基有机分子、肽、多肽、肽模拟物、糖、激素和核酸分子。在特定实施方案中,该测试试剂是分子量小于约2000道尔顿的小有机分子。

[0144] 本发明的测试化合物可以作为单独的、分散的实体提供,或者在更复杂的文库中提供,诸如通过组合化学制备的文库。这些文库可包含,例如,醇、卤代烷、胺、酰胺、酯、醛、醚和其它类别的有机化合物。测试化合物可以分离形式或化合物的混合物展示于测试系统(特别是在初始筛选步骤中)。任选地,化合物任选可用其它化合物衍生,并具有促进该化合物分离的衍生基团。衍生基团的非限制性实例包括,生物素、荧光素、地高辛、绿色荧光蛋白、同位素、聚组氨酸、磁珠、谷胱甘肽S转移酶(GST)、可光活化的交联剂或其任何组合。

[0145] 在许多对化合物和天然提取物文库进行测试的药物筛选程序中均期望使用高通量测定,从而使给定时间范围内所考察的化合物数量最大化。在无细胞系统中进行的测定(诸如可以用纯化或半纯化蛋白衍生)常被优选为“初级”筛选,因为可以产生它们,从而允许快速开发和相对容易检测由测试化合物介导的分子目标中的改变。此外,测试化合物的细胞毒性或生物利用度的影响通常在体外系统中可被忽略,使测定替代地主要集中在药物对分子目标的作用,其可通过ActRIIB多肽与其结合配偶体(例如,ActRIIB配体)之间的结合亲和力的改变所显示。

[0146] 仅为阐述目的,在本发明的示例性筛选测定中,将目标化合物与分离和纯化的ActRIIB多肽(其通常能够结合ActRIIB配体,如适用于分析目的)相接触。然后向化合物与ActRIIB多肽的混合物中添加含有ActRIIB配体的组合物。对ActRIIB/ActRIIB配体复合物的检测和定量为测定化合物抑制(或加强)ActRIIB多肽和其结合蛋白质之间复合物形成的效力提供了手段。该化合物的效力可通过由不同浓度的测试化合物所得的数据生成剂量反应曲线而进行评估。此外,还可进行对照测定以提供用于比较的基线。例如,在对照测定中,向含有ActRIIB多肽的组合物中添加分离和纯化的ActRIIB配体,并在缺乏测试化合物的情况下对ActRIIB/ActRIIB配体复合物的形成进行定量。应当理解,一般而言混合反应物的顺序可以变化,并且可以同时混合。此外,细胞提取物和裂解物可替代纯化蛋白,用于产生合适的无细胞测定系统。

[0147] ActRIIB多肽和其结合蛋白之间的复合物形成可通过多种技术检测。例如,可采用,例如,可检测地标记的蛋白如放射性标记的(例如, ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{14}C 或 ^3H)、荧光标记的(例如,FITC)或酶标记的ActRIIB多肽或其结合蛋白,通过免疫测定或通过层析检测对复合物形成的调节进行定量。

[0148] 在某些实施方案中,本发明考虑使用荧光极化测定和荧光共振能量转移(FRET)测定来直接或间接测量ActRIIB多肽和它的结合蛋白之间的相互作用程度。此外,其它检测模式,诸如基于光波导(PCT公开W0 96/26432和美国专利号5,677,196)、表面等离子共振(SPR)、表面电荷传感器和表面力传感器的模式,与本发明的多种实施方案相容。

[0149] 此外,本发明考虑使用相互作用捕获测定(也称为“双杂交测定”)来鉴定破坏或加强ActRIIB多肽及其结合配偶体之间的相互作用的试剂。例如,参见,美国专利号5,283,317;Zervos等人(1993) Cell 72:223-232; Madura等人(1993) J Biol Chem 268:12046-12054; Bartel等人(1993) Biotechniques 14:920-924; 和Iwabuchi等人(1993) Oncogene 8:1693-1696)。在特定实施方案中,本发明考虑使用逆向双杂交系统来鉴定使ActRIIB多肽及其结合蛋白之间的相互作用解离的化合物(例如,小分子或肽)。例如,参见Vidal和Legrain, (1999) Nucleic Acids Res 27:919-29; Vidal和Legrain, (1999) Trends Biotechnol 17:374-81; 以及美国专利号 5,525,490; 5,955,280; 和5,965,368。

[0150] 在某些实施方案中,可通过它们与ActRIIB多肽相互作用的能力来鉴定主题化合物。化合物与ActRIIB多肽之间的相互作用可以是共价或非共价的。例如,此类相互作用可应用体外生物化学方法在蛋白水平上鉴定,所述生物化学方法包括光交联、放射性标记的配体结合以及亲和层析(Jakoby WB等人, 1974, Methods in Enzymology 46: 1)。在某些情况下,可在基于机理的测定(诸如检测结合ActRIIB多肽的化合物的测定)中筛选化合物。这可包括固相或液相结合事件。或者,编码ActRIIB多肽的基因可用报道系统(例如, β -半乳糖苷酶、荧光素酶或绿色荧光蛋白)转染进入细胞,并优选通过高通量筛选或用文库的各个成员对文库进行筛选。可使用其它的基于机理的结合测定,例如,检测自由能变化的结合测定。可在目标被固定至孔、珠或芯片或者被固定化抗体捕获或者被毛细管电泳分辨的情况下实施结合测定。结合化合物通常可采用比色或荧光或表面等离子共振进行检测。

[0151] 5. 示例性治疗用途

在某些实施方案中,本发明的GDF捕获物多肽可用于提高哺乳动物诸如啮齿类动物和

灵长类动物、并特别是人患者中的红细胞水平。GDF捕获物多肽,任选与EPO受体激活剂组合,可用于治疗无效性红细胞生成。最初与基于铁动力学研究(Ricketts等人, 1978, Clin Nucl Med 3:159-164)的再生障碍性贫血、出血或外周溶血不同,无效性红细胞生成描述了一组多样的贫血,其中成熟RBC的产生少于鉴于骨髓中存在的红细胞前体(成红血细胞)的数量所预期的(Tanno等人, 2010, Adv Hematol 2010:358283)。在此类贫血中,组织缺氧仍然存在,尽管由于成熟RBC的无效产生导致促红细胞生成素水平升高。恶性循环最终发生,其中升高的促红细胞生成素水平驱动成红血细胞的大量扩增,可能导致由于髓外红细胞生成产生的脾大(脾脏肿大)(Aizawa等人, 2003, Am J Hematol 74:68-72),成红血细胞诱导的骨病变(Di Matteo等人, 2008, J Biol Regul Homeost Agents 22:211-216),和组织铁超负荷,甚至在没有治疗性RBC输注的情况下(Pippard等人, 1979, Lancet 2: 819-821)。因此,通过增强红细胞生成有效性,GDF捕获物多肽可以破坏上述循环,并且可以不仅缓解根本贫血(underlying anemia),而且可以缓解促红细胞生成素水平升高、脾大、骨病变和组织铁超负荷相关的并发症。GDF捕获物多肽可以治疗无效性红细胞生成,包括贫血和EPO水平升高,以及并发症诸如脾大、成红血细胞诱导的骨病变和铁超负荷以及它们的伴随病变。伴随脾大,此类病变包括胸部或腹部疼痛和网状内皮组织增生。髓外造血不仅可以在脾脏中发生,而且可能在以髓外造血假瘤形式的其它组织中发生(Musallam等人, 2012, Cold Spring Harb Perspect Med 2:a013482)。对于成红血细胞诱导的骨病变,伴随病变包括低骨矿物质密度、骨质疏松症和骨疼痛(Haidar等人, 2011, Bone 48:425-432)。对于铁超负荷,伴随病变包括铁调素抑制和膳食铁的超吸收(Musallam等人, 2012, Blood Rev 26(Suppl 1):S16-S19),多发性内分泌腺病和肝纤维化/肝硬化(Galanello等人, 2010, Orphanet J Rare Dis 5:11),和铁超负荷心肌病(Lekawanvijit等人, 2009, Can J Cardiol 25:213-218)。

[0152] 无效性红细胞生成的最常见原因是地中海贫血综合征,为遗传性血红蛋白病,其中在完整 α -和 β -血红蛋白链的产生中的失调导致成红血细胞成熟过程中的凋亡增加(Schrier, 2002, Curr Opin Hematol 9:123-126)。地中海贫血共同地属于全世界最常见的遗传性病症,具有预测导致美国 and 全球日益严重的公共卫生问题的不断变化的流行病学模式(Vichinsky, 2005, Ann NY Acad Sci 1054:18-24)。地中海贫血综合征根据其严重程度进行命名。因此, α -地中海贫血包括轻型 α -地中海贫血(也称为轻度 α -地中海贫血;两种受影响的 α -珠蛋白基因)、血红蛋白H疾病(三种受影响的 α -珠蛋白基因),和重型 α -地中海贫血(也称为胎儿水肿;四种受影响的 α -珠蛋白基因)。 β -地中海贫血包括轻型 β -地中海贫血(也称为轻度 β -地中海贫血;一种受影响的 β -珠蛋白基因),中间型 β -地中海贫血(两种受影响的 β -珠蛋白基因),血红蛋白E地中海贫血(两种受影响的 β -珠蛋白基因),和重型 β -地中海贫血(也称为库利氏贫血;两种受影响的 β -珠蛋白基因,导致完全不存在 β -珠蛋白)。 β -地中海贫血影响多个器官,与相当大的发病率和死亡率相关,并且目前需要终身护理。尽管由于组合使用常规输血和铁螯合,近年来患有 β -地中海贫血的患者的预期寿命已经增加,但是由输注和铁的过量胃肠道吸收导致的铁超负荷可以引起严重的并发症,诸如心脏疾病、血栓形成、性腺功能减退、甲状腺功能减退、糖尿病、骨质疏松症和骨量减少(Rund等人, 2005, N Engl J Med 353:1135-1146)。如本文中用 β -地中海贫血的小鼠模型所证明的,GDF捕获物多肽,任选与EPO受体激活剂组合,可用于治疗地中海贫血综合征。

[0153] GDF捕获物多肽,任选与EPO受体激活剂组合,除了地中海贫血综合征,还可用于治疗无效性红细胞生成病症。此类病症包括铁粒幼细胞性贫血(遗传性或获得性);红细胞生成异常性贫血(I型和II型);镰状细胞性贫血;遗传性球形红细胞增多症;丙酮酸激酶缺乏症;巨幼红细胞性贫血,可能由状况:诸如叶酸缺乏症(由于先天性疾病、摄入减少或需求增加),钴胺素缺乏症(由于先天性疾病、恶性贫血、吸收受损、胰腺功能不全或摄入减少),某些药物,或不明病因(先天性红细胞生成异常性贫血、难治性巨幼红细胞性贫血或红白血病)引起;骨髓病性贫血,包括骨髓纤维化(髓样化生)和骨髓瘤;先天性红细胞生成性卟啉病;和铅中毒。

[0154] 本文所用的“预防”病症或状况的治疗剂指在统计样品中相对未治疗的对照样品减少治疗样品中的病症或状况的发生,或者相对未治疗的对照样品延迟病症或状况的一种或多种症状的发作或减少其严重度的化合物。本文所用的术语“治疗”包括一旦在状况形成后改善或消除该状况。在任一情况下,预防或治疗可在医师或其他健康护理提供者所提供的诊断和该治疗剂的施用的预期结果中得到辨别。

[0155] 任选地与EPO受体激活剂组合的本文所示的GDF捕获物多肽可用于提高健康个体的红细胞、血红蛋白或网织红细胞水平,且此类GDF捕获物多肽可用于选定的患者群体。合适的患者群体的实例包括具有不希望的低红细胞或血红蛋白水平的患者,诸如患有贫血的患者,以及具有发生不希望的低红细胞或血红蛋白水平的风险的患者,诸如正要进行可能导致大量失血的大手术或其它程序的那些患者。在一个实施方案中,采用GDF捕获物多肽治疗具有足够红细胞水平的患者以提高红细胞水平,然后抽出血液并保存,供以后输血使用。

[0156] 任选地与EPO受体激活剂组合的本文公开的GDF捕获物多肽可用于提高患有贫血的患者中的红细胞水平。当在人类中观察血红蛋白水平时,尽管考虑个体变异,低于适当的年龄和性别分类的正常值的水平可表示贫血。例如,12 g/dl的血红蛋白水平通常认为是一般成年群体中的正常值的下限。潜在的原因包括失血、营养缺乏、药物反应、与骨髓和多种疾病有关的各种问题。更具体而言,贫血与多种病症相关,其包括,例如,慢性肾功能衰竭、骨髓异常增生综合征、类风湿关节炎、骨髓移植。贫血还可与如下状况相关:实体瘤(例如乳腺癌、肺癌、结肠癌);淋巴系统的肿瘤(例如慢性淋巴细胞白血病,非霍奇金淋巴瘤和霍奇金淋巴瘤);造血系统的肿瘤(例如白血病、骨髓异常增生综合征、多发性骨髓瘤);放疗;化疗(例如含铂的方案);炎性和自身免疫疾病,包括但不限于类风湿关节炎、其它性关节炎、系统性红斑狼疮(SLE)、急性或慢性皮肤疾病(例如,牛皮癣)、炎性肠病(例如,克罗恩病和溃疡性结肠炎);急性或慢性肾疾病或衰竭,包括特发性或先天性状况;急性或慢性肝疾病;急性或慢性出血;由于患者的异体或自体抗体和/或由于宗教原因(例如,某些耶和华见证人)而不能输注红细胞的情况;感染(例如,疟疾,骨髓炎);血红蛋白病,包括,例如,镰状细胞疾病、地中海贫血;药物使用或滥用,例如,酒精滥用;由于任何避免输血的原因导致的贫血的儿科患者;以及由于担心循环负荷而不能接受输血的患贫血的年长患者或基础心肺疾病患者。

[0157] 骨髓增生异常综合征(MDS)是一组多样的血液学状况,其特征不在于髓样血细胞的无效产生和转化为急性骨髓性白血病的风险。在MDS患者中,血干细胞不成熟为健康红细胞、白细胞或血小板。MDS病症包括,例如,难治性贫血、伴随环状铁粒幼红细胞的难治性贫血、伴随过量胚细胞(blast)的难治性贫血、转化中伴随过量胚细胞的难治性贫血、伴随多

系发育异常的难治性血细胞减少和与分离的5q染色体异常相关的骨髓增生异常综合征。由于这些疾病表现为造血细胞的数量和质量的不可逆缺陷,大多数MDS患者患有慢性贫血。因此,MDS患者最终需要输血和/或用生长因子(例如,促红细胞生成素或G-CSF)治疗,以增加红细胞水平。然而,许多MDS患者由于此类治疗的频率而发生副作用。例如,接受频繁红细胞输注的患者可以由于额外铁的积累而具有组织和器官损害。如以下实施例中证明的,GDF捕获物多肽用于治疗MDS小鼠模型中的贫血。因此,本文中公开的GDF捕获物多肽可用于治疗患有MDS的患者。在某些实施方案中,患有MDS的患者可以使用GDF捕获物多肽与EPO受体激活剂组合的组合进行治疗。在其它实施方案中,患有MDS的患者可以使用GDF捕获物多肽与一种或多种用于治疗MDS的额外治疗剂的组合进行治疗,所述额外治疗剂包括,例如,沙利度胺、来那度胺、阿扎胞苷(azacitadine)、地西他滨、促红细胞生成素、去铁胺(deferoxamine)、抗T淋巴细胞球蛋白(antihymocyte globulin)、非格司亭(filgrastrim)(G-CSF)和促红细胞生成素信号转导途径激动剂。

[0158] 任选地与EPO受体激活剂组合的GDF捕获物多肽对于治疗再生障碍性骨髓的贫血(anemias of hypoproliferative bone marrow)(其典型地与红细胞(RBC)形态的很少改变相关)是合适的。再生障碍性贫血包括:1)慢性疾病的贫血,2)肾疾病的贫血,和3)与代谢减退状态相关的贫血。在这些类型的每一种中,内源性促红细胞生成素水平对于观察到的贫血程度是不适当低的。其它再生障碍性贫血包括:4)早期缺铁性贫血,和5)由骨髓损伤导致的贫血。在这些类型中,内源性促红细胞生成素水平对于观察到的贫血程度是适当地升高的。

[0159] 最常见的类型是慢性疾病的贫血,所述慢性疾病包括炎症、感染、组织损伤和诸如癌的状况,并且通过低促红细胞生成素水平和骨髓中对促红细胞生成素的反应不足两者来区分(Adamson, 2008, Harrison's Principles of Internal Medicine, 17th ed.; McGraw Hill, New York, pp 628-634)。很多因素会导致癌相关的贫血。一些与疾病过程本身和炎性细胞因子诸如白介素-1、干扰素- γ 和肿瘤坏死因子的产生相关(Bron等人, 2001, Semin Oncol 28(Suppl 8):1-6)。在其效果中,炎症诱导关键的铁调节肽铁调素(hepcidin),从而抑制铁从巨噬细胞运出,并且通常限制用于红细胞生成的铁利用度(Ganz, 2007, J Am Soc Nephrol 18:394-400)。通过各种途径的失血也会导致癌相关的贫血。由于癌进展导致的贫血的普遍程度随癌类型而不同,从前列腺癌中的5%直至多发性骨髓瘤中的90%。癌相关的贫血对患者具有深度后果,包括疲乏和生活质量下降、疗效降低和死亡率上升。

[0160] 慢性肾疾病与再生障碍性贫血相关,所述贫血的严重度随肾损害的程度改变。此类贫血主要是由于促红细胞生成素的产生不足和红细胞存活减少。慢性肾疾病通常在数年或数十年的时间中逐渐进展到末期(5期)疾病,此时需要进行透析或肾移植来使患者存活。贫血通常在此过程的早期发生,并且随疾病进展恶化。已充分记载了肾疾病的贫血的临床后果,包括发生左心室肥厚、认知功能受损、生活质量下降和免疫功能改变(Levin等人, 1999, Am J Kidney Dis 27:347-354; Nissenson, 1992, Am J Kidney Dis 20(Suppl 1):21-24; Revicki等人, 1995, Am J Kidney Dis 25:548-554; Gafter等人, 1994, Kidney Int 45:224-231)。如申请人在慢性肾疾病的小鼠模型中所证明的(参见下文实施例),任选地与EPO受体激活剂组合的GDF捕获物多肽可以用于治疗肾疾病的贫血。

[0161] 很多导致代谢速率减退的状况会产生轻到中度再生障碍性贫血。内分泌缺陷状态在此类状况中。例如,在阿狄森病、甲状腺机能减退、甲状旁腺功能亢进或去势或用雌激素治疗的男性中会发生贫血。轻到中度贫血也可以随蛋白的饮食摄取减少(在老年人中特别普遍的一种状况)而发生。最后,患有由几乎任何原因导致的慢性肝病的患者中也会发生贫血(Adamson, 2008, Harrison's Principles of Internal Medicine, 17th ed.; McGraw Hill, New York, pp 628-634)。

[0162] 大体积急性失血诸如外伤或产后出血引起的贫血称为急性出血后贫血。急性失血最初引起血容量不足,而没有贫血,因为存在RBC连同其它血液成分的按比例耗竭。但是,血容量不足会快速地触发将流体从血管外转移到血管腔隙的生理机制,这导致血液稀释和贫血。如果是慢性的,则失血逐渐耗竭机体铁储存和最终导致铁缺乏。如申请人在小鼠模型中说明的(参见下文实施例),任选地与EPO受体激活剂组合的GDF捕获物多肽可以用于从急性失血的贫血快速恢复。

[0163] 缺铁性贫血是不断增加的铁缺乏的分级进展(其包括作为中间阶段的铁的负平衡和缺铁性红细胞生成)中的最终阶段。铁缺乏可以由增加的铁需求、减少的铁摄取或增加的铁丢失导致,其在以下状况中示例:诸如妊娠、饮食不足、肠吸收不良、急性或慢性炎症,以及急性或慢性失血。伴随这种类型的轻到中度贫血,骨髓保持再生障碍,并且RBC形态大致正常;但是,甚至轻度贫血也会导致一些小细胞低血色素的(microcytic hypochromic) RBC,并且,向严重缺铁性贫血的转变伴随骨髓的高增殖和越来越普遍存在的小细胞和低血色素的RBC (Adamson, 2008, Harrison's Principles of Internal Medicine, 17th ed.; McGraw Hill, New York, pp 628-634)。缺铁性贫血的适当治疗取决于其原因和严重程度,口服铁制剂、肠胃外铁制剂和RBC输注是主要的常规选择。任选地与EPO受体激活剂组合的GDF捕获物多肽可以单独或与常规治疗方法组合用于治疗慢性缺铁性贫血,特别是用于治疗多因素来源的贫血。

[0164] 再生障碍性贫血可以由骨髓的原发功能障碍或衰竭(而不是继发于炎症、感染或癌进展的功能障碍)导致。突出的实例是由癌化疗药物或癌放疗导致的骨髓抑制。广泛的临床试验综述发现100%的化疗后患者中会发生轻度贫血,而在多至80%的这些患者中会发生更严重的贫血(Groopman等人, 1999, J Natl Cancer Inst 91:1616-1634)。骨髓抑制药物包括:1) 烷化剂,诸如氮芥(例如美法仑)和亚硝基脲(例如链脲霉素);2) 抗代谢药,诸如叶酸拮抗剂(例如甲氨蝶呤)、嘌呤类似物(例如巯鸟嘌呤)和嘧啶类似物(例如吉西他滨);3) 细胞毒性抗生素诸如蒽环类抗生素(例如多柔比星);4) 激酶抑制剂(例如吉非替尼);5) 有丝分裂抑制剂诸如紫杉烷类(例如紫杉醇)和长春花生物碱(例如长春瑞滨);6) 单克隆抗体(例如利妥昔单抗);和7) 拓扑异构酶抑制剂(例如托泊替康和依托泊苷)。如在化疗诱导的贫血的小鼠模型中所证明的(参见下文实施例),任选地与EPO受体激活剂组合的GDF捕获物多肽可以用于治疗化疗剂和/或放疗导致的贫血。

[0165] 任选地与EPO受体激活剂组合的GDF捕获物多肽也将适合于治疗RBC成熟紊乱的贫血,其特征部分在于尺寸不足(小细胞)、尺寸过大(巨细胞)、畸形或异常颜色的(低血色素的)RBC。

[0166] 在某些实施方案中,GDF捕获物多肽也可以与无效性红细胞生成的支持性治疗组合使用(例如,在相同时间或不同时间,但通常以实现重叠药理作用的方式来施用)。此类治

疗包括用红细胞或全血输注以治疗贫血。在慢性或遗传性贫血中,铁稳态的正常机制被反复输注所压倒,最终导致重要组织诸如心脏、肝脏和内分泌腺中铁的有毒和潜在致命的积累。因此,长期患有无效无效性红细胞生成的患者的支持性治疗还包括用一种或多种铁螯合分子治疗,以促进铁排泄在尿和/或粪便中,从而防止或逆转组织铁超负荷(Hershko, 2006, *Haematologica* 91:1307-1312; Cao等人, 2011, *Pediatr Rep* 3(2):e17)。有效的铁螯合剂必须能够选择性结合并中和三价铁,即可能通过催化产生羟基自由基和氧化产物而负责大多数铁毒性的非转铁蛋白结合的铁的氧化形式(Esposito等人, 2003, *Blood* 102:2670-2677)。这些药物在结构上是多样的,但都具有能够以1:1 (六配位(hexadentate)试剂)、2:1 (三配位(tridentate))或3:1 (二配位(bidentate))的化学计量与个别铁原子形成中和八面体配位络合物的氧或氮供体原子(Kalinowski等人, 2005, *Pharmacol Rev* 57:547-583)。有效的铁螯合剂也具有相对低分子量(小于700道尔顿),具有在水和脂质两者中的溶解度以便能够接近受影响的组织。铁螯合剂分子的具体实例是去铁胺,需要每天肠胃外施用的细菌来源的六配位试剂,和口服活性合成剂去铁酮(deferiprone) (二配位)和去铁斯若(deferasirox) (三配位)。由同日施用两种铁螯合剂组成的组合治疗在对螯合单治疗没有响应的患者中和还有克服单独derereroxamine的患者依从性差的问题中显示了希望(Cao等人, 2011, *Pediatr Rep* 3(2):e17; Galanello等人, 2010, *Ann NY Acad Sci* 1202:79-86)。

[0167] 在某些实施方案中,GDF捕获物多肽可以与无效性红细胞生成的铁调素激动剂组合使用。主要在肝脏中产生的循环多肽铁调素凭借其诱导膜铁转运蛋白(ferroportin) (定位于吸收性肠细胞、肝细胞和巨噬细胞上的铁输出蛋白)降解的能力而被视为铁代谢的主要调节剂。广义来说,铁调素降低细胞外铁的可用性,因此铁调素激动剂在无效性红细胞生成的治疗中可能是有益的(Nemeth, 2010, *Adv Hematol* 2010:750643)。该观点得到β-地中海贫血的小鼠模型中铁调素表达增加的有益作用的支持(Gardenghi等人, 2010, *J Clin Invest* 120:4466-4477)。

[0168] 另外地,如本文显示,GDF捕获物多肽可以与EPO受体激活剂组合使用以在较低剂量范围实现红细胞增加。这可有益于降低已知脱靶效果和与高剂量EPO受体激活剂相关的风险。在某些实施方案中,本发明提供了通过给有需要的个体施用治疗有效量的GDF捕获物多肽或GDF捕获物多肽和EPO受体激活剂的组合(或伴随治疗)而治疗或预防所述个体的贫血的方法。这些方法可用于哺乳动物(特别是人)的治疗性或预防性治疗。

[0169] GDF捕获物多肽可以EPO受体激活剂组合使用以降低对易受EPO副作用影响的患者中这些激活剂的需要剂量。EPO的主要副作用是血细胞比容或血红蛋白水平的过度增加和红细胞增多症。提高的血细胞比容水平可以引起高血压(更尤其是高血压恶化)和血管血栓。已报告的EPO的其它副作用,其中一些涉及高血压,是头痛、流感样综合征、旁路阻塞、归因于血栓症的心肌梗塞和脑惊厥(cerebral convulsions)、高血压脑病和红细胞发育不全(aplasia) (Singibarti, (1994) *J. Clin Investig* 72(suppl 6), S36-S43; Horl等人(2000) *Nephrol Dial Transplant* 15(suppl 4), 51-56; Delanty等人(1997) *Neurology* 49, 686-689; Bunn (2002) *N Engl J Med* 346(7), 522-523)。

[0170] 本文公开的GDF捕获物多肽对红细胞水平的快速效果表明这些制剂通过与EPO不同的机制起作用。因此,这些拮抗剂可用于增加对EPO不充分应答的患者中的红细胞和血红

蛋白水平。例如,GDF捕获物多肽可有益于其中施用正常至增加(>300 IU/kg/周)剂量的EPO不导致血红蛋白水平增加直至目标水平的患者。对于所有类型的贫血都发现EPO应答不足的患者,但较高数目的非应答者已在患有癌症的患者和患有末期肾脏疾病的患者中特别频繁地观察到。对EPO的应答不足可以是组成性的(即在用EPO初次治疗后观察到)或获得性的(例如在用EPO反复治疗后观察到)。

[0171] 可采用目的在于将患者恢复至目标血红蛋白水平的给药方案来治疗患者,该目标血红蛋白水平通常在约10 g/dl和约12.5 g/dl之间,典型地约为11.0 g/dl (也参见Jacobs等人(2000) *Nephrol Dial Transplant* 15, 15-19),尽管较低的目标水平可引起较少的心血管副作用。或者,血细胞比容水平(细胞占血液样品体积的百分比)可用作对红细胞状况的量度。对于健康个体的血细胞比容水平,成年男性的范围为41-51%,成年女性的范围为35-45%。目标血细胞比容水平通常约为30-33%。此外,血红蛋白/血细胞比容水平随个体而变化。因此,最佳情况下,该目标血红蛋白/血细胞比容水平可针对每位患者进行个体化。

[0172] 在某些实施方案中,本发明提供通过测量患者中一种或多种血液学参数用于管理已用GDF捕获物多肽治疗或是GDF捕获物多肽治疗候选者的患者的方法。血液学参数可用于评价对于是GDF捕获物多肽治疗候选者的患者的适当给药、监测在用GDF捕获物多肽治疗期间的血液学参数、评价是否在用GDF捕获物多肽治疗期间调节剂量、和/或评价GDF捕获物多肽的适当的维持剂量。如果血液学参数中的一种或多种在正常水平外,用GDF捕获物多肽给药可降低、延迟或停止。

[0173] 可根据本文提供的方法测量的血液学参数包括例如,红细胞水平、血压、铁储存和与增加的红细胞水平相关的体液中发现的其它试剂,其使用本领域认可的方法。此类参数可使用来自患者的血液样品确定。红细胞水平、血红蛋白水平和/或血细胞比容水平的增加可引起血压的增加。

[0174] 在一个实施方案中,如果一种或多种血液学参数在正常范围之外或在正常高侧,则在为GDF捕获物多肽治疗候选者的患者中,GDF捕获物多肽的开始施用可延迟,直至血液学参数已自然地或经由治疗干预回复到正常或可接受的水平。例如,如果候选患者是高血压或高血压前期,则患者可用降压药治疗以便降低患者的血压。适用于个别患者的状况的任何降压药都可使用,包括例如,利尿药、肾上腺素能抑制剂(包括 α 受体阻滞剂和 β 受体阻滞剂)、血管扩张剂、钙通道阻滞剂、血管紧张素转换酶(ACE)抑制剂或血管紧张素II受体阻滞剂。或者血压可使用饮食和锻炼方案治疗。类似地,如果候选患者具有低于正常或在正常低侧的铁储存,则患者可用适当的饮食和/或铁补充方案治疗,直至患者的铁储存回复到正常或可接受的水平。对于具有高于正常红细胞水平和/或血红蛋白水平的患者,则施用GDF捕获物多肽可延迟,直至水平回复到正常或可接受的水平。

[0175] 在某些实施方案中,如果一种或多种血液学参数在正常范围外,或在正常高侧,则在为GDF捕获物多肽治疗候选者的患者中,开始施用可以不用延迟。但是,GDF捕获物多肽的剂量或给药频率可设置为会降低施用GDF捕获物多肽之后导致的血液学参数中的不可接受增加的风险的量。或者,治疗方案可针对组合GDF捕获物多肽和解决不期望水平的血液学参数的治疗剂的患者开发。例如,如果患者具有升高的血压,则可设计涉及施用GDF捕获物多肽和降压药的治疗方案。对于具有低于期望的铁储存的患者,可开发GDF捕获物多肽和铁补

充的治疗方案。

[0176] 在一个实施方案中,可对为GDF捕获物多肽治疗候选者的患者确立对于一种或多种血液学参数的一个或多个基线参数,并且基于一个或多个基线值对该患者确立适当的给药方案。或者,基于患者的医疗史确立的基线参数可用于告知对患者的适当的GDF捕获物多肽给药方案。例如,如果健康患者具有高于限定正常范围的确立的基线血压读数,则在GDF捕获物多肽治疗前可不必使患者的血压进入对一般群体考虑为正常的范围。在GDF捕获物多肽治疗前患者的一种或多种血液学参数的基线值也可用作相关比较值来监测GDF捕获物多肽治疗期间血液学参数的任何变化。

[0177] 在某些实施方案中,一种或多种血液学参数在GDF捕获物多肽治疗的患者中测量。该血液学参数可用于在治疗期间监测患者并允许调整或停止GDF捕获物多肽给药或另一治疗剂的额外给药。例如,如果施用GDF捕获物多肽导致血压、红细胞水平或血红蛋白水平增加,或铁储存降低,则GDF捕获物多肽的剂量可在量或频率方面降低,以便降低GDF捕获物多肽对一种或多种血液学参数的作用。如果施用GDF捕获物多肽导致不利于患者的一种或多种血液学参数变化,则GDF捕获物多肽的给药可临时地、直至一种或多种血液学参数回复到可接受的水平、或永久地停止。类似地,如果一种或多种血液学参数在降低施用GDF捕获物多肽的剂量或频率后不在可接受的范围内,则给药可停止。作为降低或停止GDF捕获物多肽给药的替代方案或除此以外,可给予患者解决一种或多种血液学参数的不期望水平的额外治疗剂,诸如,例如,降压药或铁补充剂。例如,如果用GDF捕获物多肽治疗的患者具有升高的血压,则GDF捕获物多肽给药可在相同水平持续,并且将降压药加入治疗方案,GDF捕获物多肽给药可降低(例如,以量和/或频率)并且将降压药加入治疗方案,或GDF捕获物多肽给药可停止并且患者可用降压药治疗。

[0178] 6. 药物组合物

在某些实施方案中,本发明的化合物(例如,GDF捕获物多肽)与药学上可接受的载体一起配制。例如,GDF捕获物多肽可单独施用或作为药物制剂(治疗组合物)的组分施用。可以配制所述主题化合物,从而以任何方便的方式施用,用于人或兽医医学中。

[0179] 在某些实施方案中,本发明的治疗方法包括全身或作为移植物或装置局部施用组合物。在施用时,用于本发明的治疗组合物当然地呈无致热原、生理学可接受的形式。除了GDF捕获物多肽以外的、也可任选包含在上述组合物中的治疗有用的试剂可在本发明的方法中与主题化合物(例如,GDF捕获物多肽)同时或相继施用。

[0180] 典型地,将肠胃外施用化合物。适合肠胃外施用的药物组合物可包含一种或多种GDF捕获物多肽,其与以下组分组合:一种或多种药学上可接受的无菌等渗水溶液或非水溶液、分散液、混悬液或乳状液;或者可在临使用之前重配成无菌的可注射溶液或分散液的无菌粉末,其可含有抗氧化剂、缓冲剂、抑菌剂、使制剂与预期的接受者的血液等渗的溶质、或者悬浮剂或增稠剂。可在本发明药物组合物中采用的合适的水性和非水性载体的实例包括水、乙醇、多元醇(诸如甘油、丙二醇、聚乙二醇等)及其合适的混合物;植物油,诸如橄榄油;以及可注射的有机酯,诸如油酸乙酯。例如,可通过使用包衣材料诸如卵磷脂,在分散液的情况下通过维持所需要的粒径,以及通过使用表面活性剂来维持适当的流动性。

[0181] 此外,可以用于递送到目标组织部位(例如骨髓)的形式将组合物包封或注射。在某些实施方案中,本发明的组合物可包含能够将一种或多种治疗化合物(例如GDF捕获物多

肽)递送到目标组织部位(例如骨髓)、为发育中组织提供结构且最优能够被再吸收进入体内的基质。例如,所述基质可提供GDF捕获物多肽的缓慢释放。此类基质可由当前用于其它植入医疗应用中的材料形成。

[0182] 基质材料的选择基于生物相容性、生物可降解性、机械性质、美学外观和界面性质。主题组合物的具体应用将限定合适的制剂。用于组合物的可能的基质可以是生物可降解的和在化学上定义的硫酸钙、磷酸三钙、羟磷灰石、聚乳酸和聚酸酐。其它可能的材料是生物可降解的且在生物学上充分定义的,诸如骨或真皮胶原。进一步的基质由纯蛋白或细胞外基质组分构成。其它可能的基质是不可生物降解且经化学定义的,诸如烧结的羟磷灰石、生物玻璃、铝酸盐或其它陶瓷。基质可以由任何上述类型的材料的组合,诸如聚乳酸与羟磷灰石或者胶原与磷酸三钙的组合构成。可以在组成上(诸如钙-铝酸盐-磷酸盐)和加工上改变生物陶瓷以改变孔径、粒径、粒子形状和生物可降解性。

[0183] 在某些实施方案中,本发明的方法可以口服施用,例如为以下的形式:胶囊、扁囊剂、丸剂、片剂、糖锭(使用矫味的基料(flavored basis),通常是蔗糖和阿拉伯胶或西黄蓍胶)、粉剂、颗粒或作为在水性或非水性液体中的溶液或混悬液、或者作为水包油或油包水的液体乳状液、或作为酞剂或糖浆、或作为锭剂(采用惰性基质,诸如明胶和甘油或者蔗糖和阿拉伯胶)和/或作为漱口剂等,每种形式含有预定量的试剂作为有效成分。试剂也可以以大丸剂、药糖剂(electuary)或糊剂的形式施用。

[0184] 在用于口服施用的固体剂型(胶囊、片剂、丸剂、糖衣剂、粉剂、颗粒等)中,一种或多种本发明的治疗化合物可与一种或多种药学上可接受的载体(诸如柠檬酸钠或磷酸二钙)和/或任何以下物质混合:(1)填充剂或增量剂,诸如淀粉、乳糖、蔗糖、葡萄糖、甘露醇和/或硅酸;(2)粘结剂,诸如,例如羟甲基纤维素、藻酸盐、明胶、聚乙烯吡咯烷酮、蔗糖和/阿拉伯胶;(3)保湿剂,诸如甘油;(4)崩解剂,诸如琼脂-琼脂、碳酸钙、马铃薯或木薯淀粉、藻酸、某些硅酸盐以及碳酸钠;(5)溶液阻滞剂,诸如石蜡;(6)吸收促进剂,诸如季铵化合物;(7)湿润剂,诸如例如鲸蜡醇和单硬脂酸甘油酯;(8)吸附剂,诸如高岭土和膨润土;(9)润滑剂,诸如滑石、硬脂酸钙、硬脂酸镁、固体聚乙二醇、十二烷基硫酸钠及其混合物;以及(10)着色剂。在胶囊、片剂和丸剂的情况下,药物组合物还可以包含缓冲剂。相似类型的固体组合物也可以在软和硬填充明胶胶囊中用作填充剂,所述胶囊使用赋形剂,诸如乳糖(lactose)或奶糖(milk sugars),以及高分子量聚乙二醇等。

[0185] 用于口服施用的液体剂型包括药学上可接受的乳状液、微乳状液、溶液、混悬液、糖浆和酞剂。除了活性成分之外,液体剂型可包含本领域通常使用的惰性稀释剂,诸如水或其它溶剂,增溶剂和乳化剂,诸如乙醇、异丙醇、碳酸乙酯、乙酸乙酯、苯甲醇、苯甲酸苄酯、丙二醇、1,3-丁二醇,油类(尤其是棉籽油、花生油、玉米油、胚芽油、橄榄油、蓖麻油和芝麻油),甘油,四氢糠醇,聚乙二醇和失水山梨糖醇的脂肪酸酯,及其混合物。除了惰性稀释剂,口服组合物也可以包含辅助剂,诸如湿润剂、乳化剂和悬浮剂、甜味剂、调味剂、着色剂、香料和防腐剂。

[0186] 除了活性化合物,混悬液可包含悬浮剂,诸如乙氧基化异十八醇、聚氧乙烯山梨醇、失水山梨糖醇酯、微晶纤维素、偏氢氧化铝、膨润土、琼脂-琼脂和西黄蓍胶,及其混合物。

[0187] 本发明的组合物也可以含有辅助剂,诸如防腐剂、湿润剂、乳化剂和分散剂。通过

包括各种抗菌剂和抗真菌剂(例如对羟基苯甲酸酯、氯丁醇、苯酚山梨酸等)来保证防止微生物的作用。也可希望将等渗剂(诸如糖、氯化钠等)包括入组合物中。此外,可通过包括延迟吸收的试剂(诸如单硬脂酸铝和明胶)来实现延长可注射药物形式的吸收。

[0188] 可以理解剂量方案可由主治医师考虑改变本发明主题化合物(例如,GDF捕获物多肽)的作用的各种因素来确定。所述各种因素包括,但不限于,患者的红细胞计数,血红蛋白水平或其它诊断评估,所需目标红细胞计数,患者的年龄、性别和饮食,可导致红细胞水平降低的任何疾病的严重度、施用时间以及其它临床因素。向最终组合物中添加其它已知的生长因子也可能影响剂量。可通过周期性评估红细胞和血红蛋白水平,以及评估网织红细胞水平和其它的造血过程指标来监测进展。

[0189] 在某些实施方案中,本发明还提供了用于体内生成GDF捕获物多肽的基因治疗。此类治疗可通过将GDF捕获物多核苷酸序列导入具有上述列举的病症的细胞或组织来实现其疗效。可采用重组表达载体(诸如嵌合病毒或胶体分散系统)实现GDF捕获物多核苷酸序列的递送。优选使用靶向的脂质体进行GDF捕获物多核苷酸序列的治疗性递送。

[0190] 本文教导的可用于基因治疗的各种病毒载体包括腺病毒、疱疹病毒、痘苗病毒或RNA病毒诸如逆转录病毒。该逆转录病毒载体可以是鼠或禽类逆转录病毒的衍生物。可插入单个外源基因的逆转录病毒载体的实例包括,但不限于:莫洛尼鼠氏白血病病毒(MoMuLV)、Harvey鼠肉瘤病毒(HaMuSV)、鼠乳腺肿瘤病毒(MuMTV)以及劳斯肉瘤病毒(RSV)。许多其它的逆转录病毒载体可并入多种基因。所有这些载体可转移或并入可选择标记基因,从而可鉴别和生成转导的细胞。逆转录病毒载体可通过连接例如糖、糖脂或蛋白而具有目标特异性。通过使用抗体实现优选的靶向作用。本领域技术人员将认识到,特定的多核苷酸序列可被插入逆转录病毒基因组或连接至病毒被膜,以允许包含GDF捕获物多核苷酸的逆转录病毒载体的目标特异性递送。

[0191] 或者,可采用编码逆转录病毒结构基因gag、pol和env的质粒通过常规的磷酸钙转染直接转染组织培养细胞。然后用含有目标基因的载体质粒转染这些细胞。所得细胞将逆转录病毒载体释放进入培养基。

[0192] GDF捕获物多核苷酸的另一靶向递送系统是胶体分散系统。胶体分散系统包括大分子复合物、纳米胶囊、微球体、珠以及基于脂质的系统(包括水包油乳状液、胶束、混合胶束以及脂质体)。本发明优选的胶体系统为脂质体。脂质体是可在体外和体内用作递送载体的人工膜囊泡。RNA、DNA和完整的病毒粒子可被包封在水相内部,并以生物活性形式递送至细胞(参见例如,Fraley等人,Trends Biochem. Sci., 6:77, 1981)。使用脂质体载体有效转移基因的方法是在本领域中已知的,参见例如,Mannino等人,Biotechniques, 6:682, 1988。脂质体的组成通常为磷脂的组合,并常与类固醇、特别是胆固醇组合。也可使用其它磷脂或其它脂质。脂质体的物理特征依赖于pH、离子强度以及二价阳离子的存在。

[0193] 可用于产生脂质体的脂质的实例包括磷脂酰基化合物,诸如磷脂酰甘油、磷脂酰胆碱、磷脂酰丝氨酸、磷脂酰乙醇胺、鞘脂、脑苷脂以及神经节苷脂。说明性的磷脂包括卵磷脂酰胆碱、二棕榈酰磷脂酰胆碱和二硬脂酰磷脂酰胆碱。脂质体的靶向也可能基于,例如器官特异性、细胞特异性和细胞器特异性,并且是在本领域中已知的。

实施例

[0194] 现在对本发明进行了一般描述,参考以下的实施例将更容易理解本发明,实施例仅仅是为了举例说明某些实施方案和本发明的实施方案的目的,并不意在限制本发明。

[0195] 实施例1: GDF捕获物的产生

申请人如下构建 GDF捕获物。将具有修饰的ActRIIB胞外结构域的多肽(其具有相对于GDF11和/或筒箭毒碱大大降低的激活素A结合(作为SEQ ID NO: 1中位置 79的亮氨酸-至-天冬氨酸取代的后果))与人或小鼠Fc结构域融合,其间具有最小接头(3个甘氨酸氨基酸)。该构建体分别称为 ActRIIB (L79D 20-134) -hFc 和ActRIIB (L79D 20-134) -mFc。类似地实施在位置 79具有谷氨酸而不是天冬氨酸的可替代形式(L79E)。也产生相对于下文的SEQ ID NO: 7在位置226具有丙氨酸而不是缬氨酸的可替代形式并在所有测试方面等价实施。位置79(相对于 SEQ ID NO: 1,或相对于SEQ ID NO: 7的位置60)的天冬氨酸在下文以灰色突出显示。相对于 SEQ ID NO: 7在位置226的缬氨酸也在下文以灰色突出显示。

[0196] GDF捕获物ActRIIB (L79D 20-134) -hFc在下文显示为从CHO细胞系纯化(SEQ ID NO: 7)。

GRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCEGEQDKRLHCYASWRNSSGTIELVKK
GCWDDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLPEAGGPVITYEPPPT
APTGGGTHICPPCPAPELLGGPSVFLFPPKPKD TLMISRTPEVTCVVVDVSHEDPEVK
FNWYVDGVEVHNAKTKPREEQYNSTYRVVSVLTVLHQDWLNGKEYKCKVSNKAL
PVPIEKTISKAKGQPREPQVYTLPPSREEMTKNQVSLTCLVKGFYPSDIAVEWESNGQ
PENNYKTIPTPVLDSDGSFFLYSKLTVDKSRWQQGNVFSCSVMHEALHNHYTQKSLS
LSPGK

[0197] GDF捕获物的ActRIIB-衍生的部分具有下文显示的氨基酸序列(SEQ ID NO: 32),并且该部分可以用作单体,或用作作为单体、二聚体或更高级复合体的非-Fc融合蛋白。

GRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCEGEQDKRLHCYASWRNSSGTIE
LVKKGCWDDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLPEAGGPVITYE
PPPTAPT (SEQ ID NO: 32)

[0198] GDF捕获物蛋白质在CHO细胞系中表达。考虑3种不同的前导序列:

- (i) 蜜蜂蜂毒素 (HBML): MKFLVNVALVFMVVYISYIYA (SEQ ID NO: 8)
- (ii) 组织型纤溶酶原激活剂 (TPA): MDAMKRGLCCVLLLCGAVFVSP (SEQ ID NO: 9)
- (iii) 天然的: MTAPWVALALLWGS LCAGS (SEQ ID NO: 10)。

[0199] 选择的形式利用TPA前导序列并具有下列未加工氨基酸序列:

MDAMKRGLCCVLLLCGAVFVSPGASGRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCE
GEQDKRLHCYASWRNSSGTIELVKKGCWDDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCE
GNFCNERFTHLPEAGGPVITYEPPPTAPTGGGTHICPPCPAPELLGGPSVFLFPPKPKD
TLMISRTPEVTCVVVDVSHEDPEVKFNWYVDGVEVHNAKTKPREEQYNSTYRVVSV
LTVLHQDWLNGKEYKCKVSNKALPVPIEKTISKAKGQPREPQVYTLPPSREEMTKNQ

VSLTCLVKGFYPSDIAVEWESNGOPENNYKTTTPVLDSDGSFFELYSKLTVDKSRWQQ

GNVFSCSVMHEALHNHYTQKSLSLSPGK (SEQ ID NO: 11)。

[0200] 该多肽由下列核酸序列 (SEQ ID NO:12) 编码:

```
A TGGATGCAAT GAAGAGAGGG CTCTGCTGTG TGCTGCTGCT GTGTGGAGCA GTCTTCTGTT
CGCCCGGCGC CTCTGGGCGT GGGGAGGCTG AGACACGGGA GTGCATCTAC TACAAGGCA
ACTGGGAGCT GGAGCGCACC AACCAGAGCG GCCTGGAGCG CTGGGAAGGC GAGCAGGACA
AGCGGCTGCA CTGCTACGCC TCCTGGGGCA ACAGCTCTGG CACCATCGAG CTCGTGAAGA
AGGCTGCTG GGACGATGAC TTCAACTGCT ACBATAAGCA GGAGTGTGTG GCGACTGAGG
AGAACCCTCA GGTGTACTTC TGCTGCTGTG AAGGCAACTT CTGCAACGAG CGCTTCACTC
ATTTGCCAGA GGCTGGGGGC CCGGAAGTCA CGTACGAGCC ACCCGGACA GCGCCGACCG
GTGGTGGAA CACACATGC CCAACGTGCC CAGCACCTGA ACTCTTGGGG GGACCGTCAAG
TCTTCTCTCT CCCCCAAAA CCAAGGACA CCCTCATGAT CTCCCGGACC CTTGAGGTCA
CATGCGTGGT GGTGGACGTG AGCCACGAAG ACCCTGAGGT CAAGTTCAAC TGGTACGTGG
ACGGCGTGGG GGTGCATAAT GCCAAGACAA AGCGCGGGGA GGAGCAGTAC AACAGCACGT
ACCGTGTGGT CAGCGTCTTC ACCGTCTCTG ACCAGGACTG GCTGAATGGC AAGGAGTACA
AGTGCAAGGT CTCCAACAA GCCCTCCGAG TCCCATCGA GAAAACCATC TCCAAGGCA
AAGGGCAGCC CCGAGAACCA CAGGTGTACA CCTGCCCCC ATCCCGGGAG GAGATGACCA
AGAACCAGGT CAGCCTGACC TGCTGTGTCA AAGCTTCTA TCCGAGCAGC ATCGCGGTGG
AGTGGGAGAG CAATGGGCAG CCGGAGAAC AACTACAAGAC CACGCTCTCC GTGCTGGACT
CCGACGGCTC CTTCTTCTCT TATAGCAAGC TCACCGTGGG CAAGAGCAGG TGGCAGCAGG
GGAAAGTCTT CTCATCTCTC GTGATGCATG AGGCTCTGCA CAACCACTAC ACCGAGAAGA
GCCTCTCCCT GTCTCCGGGT AAATGA
```

[0201] 纯化可通过一系列柱层析步骤,包括例如下列中的3个或更多以任何顺序实现:蛋白A层析、Q琼脂糖层析、苯基琼脂糖层析、尺寸排阻层析和阳离子交换层析。纯化可以用病毒过滤和缓冲液交换完成。在纯化方案的一个实例中,使细胞培养基通过蛋白A柱,在150 mM Tris/NaCl (pH 8.0)中洗涤,然后在50 mM Tris/NaCl (pH 8.0)中洗涤并用0.1 M 甘氨酸pH 3.0洗脱。将低pH洗脱物保持在室温30分钟,作为病毒清除步骤。然后使洗脱物中和并通过Q琼脂糖离子交换柱并在50 mM Tris pH 8.0、50 mM NaCl中洗涤,并在50 mM Tris pH 8.0 (具有150 mM至300 mM的NaCl浓度)中洗脱。然后将洗脱物变更到50 mM Tris pH 8.0、1.1 M 硫酸铵中并通过苯基琼脂糖柱、洗涤并在50 mM Tris pH 8.0 (具有150 mM至300 mM的硫酸铵)中洗脱。将洗脱物透析并过滤进行应用。

[0202] 额外的GDF捕获物 (修饰的ActRIIB-Fc融合蛋白从而降低激活素A结合相对于筒箭毒碱或GDF11的比) 描述于PCT/US2008/001506 和WO 2006/012627中,其通过引用并入本文。

[0203] 实施例 2. 对于GDF-11和激活素-介导的信号传导的生物测定。

[0204] 使用A-204报道基因测定来评价ActRIIB-Fc 蛋白质和GDF捕获物对通过GDF-11和激活素A的信号传导的作用。细胞系:人横纹肌肉瘤 (衍生自肌肉)。报道载体:pGL3 (CAGA) 12 (描述于Dennler等人, 1998, EMBO 17: 3091-3100)。CAGA12基序存在于TGF-β应答基因 (PAI-1基因) 中,因此该载体通常用于通过Smad2和3信号传导的因子。

[0205] 第1日:将A-204细胞分到48-孔板中。

[0206] 第2日:将A-204细胞用10 ug pGL3 (CAGA) 12或pGL3 (CAGA) 12 (10 ug) + pRLCMV (1 ug) 和Fugene转染。

[0207] 第3日:添加因子 (稀释到培养基+ 0.1 % BSA中)。抑制剂需要在加入细胞前与因子预孵育1小时。6小时后,将细胞用PBS清洗并裂解细胞。

[0208] 随后进行荧光素酶分析。在不存在任何抑制剂的情况下,激活素A显示报道基因表

达的10倍刺激和ED50 ~ 2 ng/ml。GDF-11:16倍刺激,ED50:~ 1.5 ng/ml。

[0209] ActRIIB (20-134) 是该测定中激活素、GDF-8和GDF-11活性的有效抑制剂。也在该测定中测试变体。

[0210] 实施例 3. 通过N-末端和C-末端截短的GDF-11抑制

产生具有N-末端和/或C-末端截短的ActRIIB (20-134) -hFc变体并测试其作为GDF-11和激活素的抑制剂的活性。活性在下文显示 (如在条件培养基中测量的):

C-末端ActRIIB-hFc截短:

	IC50 (ng/mL)	
	GDF-11	激活素
ActRIIB(20-134)-hFc	45	22
ActRIIB(20-132)-hFc	87	32
ActRIIB(20-131)-hFc	120	44
ActRIIB(20-128)-hFc	130	158

[0211] 如可见,C-末端3个 (以...PPT终止)、6个 (以 ...YEP终止) 或更多个氨基酸的截短引起分子活性3倍或更高倍的降低。ActRIIB部分的最后15个氨基酸的截短引起活性的更多丢失 (参见W02006/012627)。

[0212] 氨基末端截短在ActRIIB (20-131) -hFc蛋白质的背景中进行。活性在下文显示 (如在条件培养基中测量的):

N-末端ActRIIB-hFc截短:

	IC50 (ng/mL)	
	GDF-11	激活素
ActRIIB(20-131)-hFc (GRG...)	183	201
ActRIIB(21-131)-hFc (RGE...)	121	325
ActRIIB(22-131)-hFc (GEA...)	71	100
ActRIIB(23-131)-hFc (EAE...)	60	43
ActRIIB(24-131)-hFc (AET...)	69	105

[0213] 因此,2个、3个或4个氨基酸从N-末端的截短引起比具有全长胞外结构域的形式更具活性蛋白质的产生。另外的实验显示,5个氨基酸的截短ActRIIB (25-131) -hFc与未截短形式具有等价的活性,并且在N-末端的额外缺失持续降低蛋白质的活性。因此,最佳的构建体将具有在SEQ ID NO: 1的氨基酸133-134之间终止的C-末端和在SEQ ID NO: 1的氨基酸

22-24起始的N-末端。相应于氨基酸21或25的N-末端将产生类似于ActRIIB (20-134) -hFc构建体的活性。这些截短可也在GDF捕获物的上下文中使用,诸如L79D或L79E变体。

[0214] 实施例 4. ActRIIB-Fc变体,基于细胞的活性。

[0215] 在基于细胞的测定中测试ActRIIB-Fc蛋白质和GDF捕获物的活性,如上所述。结果在下表中概述。一些变体在不同的C-末端截短构建体中进行测试。如上文论述,5或15个氨基酸的截短引起活性降低。GDF捕获物 (L79D和L79E 变体) 显示激活素结合的实质丢失,同时保持几乎GDF-11的野生型抑制。

[0216] 可溶性ActRIIB-Fc与GDF11和激活素A的结合:

ActRIIB-Fc 变异	ActRIIB 部分 (相应于SEQ ID NO: 1 的氨基酸)	GDF11 抑制活性	激活素抑制活性
R64	20-134	+++ (大约 10^{-8} M K _d)	+++ (大约 10^{-8} M K _d)
A64	20-134	+ (大约 10^{-6} M K _d)	+ (大约 10^{-6} M K _d)
R64	20-129	+++	+++
R64 K74A	20-134	++++	++++
R64 A24N	20-134	+++	+++
R64 A24N	20-119	++	++
R64 A24N K74A	20-119	+	+
R64 L79P	20-134	+	+
R64 L79P K74A	20-134	+	+
R64 L79D	20-134	+++	+
R64 L79E	20-134	+++	+
R64K	20-134	+++	+++
R64K	20-129	+++	+++
R64 P129S P130A	20-134	+++	+++
R64N	20-134	+	+

+ 活性差 (大约 1×10^{-6} K_d)

++ 中等活性 (大约 1×10^{-7} K_d)

+++ 活性良好 (野生型) (大约 1×10^{-8} K_d)

++++ 高于野生型活性。

[0217] 已评估几种变体在大鼠中的血清半衰期。ActRIIB (20-134) -Fc具有大约70小时的血清半衰期。ActRIIB (A24N 20-134) -Fc具有大约100-150小时的血清半衰期。A24N变体在基于细胞的测定 (上述) 和体内测定 (下文) 中具有等价于野生型分子的活性。结合较长半衰期,这意味着随着时间推移,A24N变体将产生比野生型分子更大的每单位蛋白质的作用。A24N变体和上文测试的任何其它变体可与GDF捕获物分子结合,诸如L79D或L79E变体。

[0218] 实施例 5. GDF-11和激活素A结合。

[0219] 在BiaCore™测定中测试某些ActRIIB-Fc蛋白质和GDF捕获物与配体的结合。

[0220] 使用抗-hFc抗体将ActRIIB-Fc变体或野生型蛋白质捕获在系统中。将配体注射和流动在捕获的受体蛋白质上。结果在下文的表中概述。

[0221] 配体结合特异性IIB变体。

GDF11			
蛋白质	K_{on} (1/Ms)	K_{off} (1/s)	KD (M)
ActRIIB(20-134)-hFc	1.34e-6	1.13e-4	8.42e-11
ActRIIB(A24N 20-134)-hFc	1.21e-6	6.35e-5	5.19e-11
ActRIIB(L79D 20-134)-hFc	6.7e-5	4.39e-4	6.55e-10
ActRIIB(L79E 20-134)-hFc	3.8e-5	2.74e-4	7.16e-10
ActRIIB(R64K 20-134)-hFc	6.77e-5	2.41e-5	3.56e-11
GDF8			
蛋白质	K_{on} (1/Ms)	K_{off} (1/s)	KD (M)
ActRIIB(20-134)-hFc	3.69e-5	3.45e-5	9.35e-11
ActRIIB(A24N 20-134)-hFc			
ActRIIB(L79D 20-134)-hFc	3.85e-5	8.3e-4	2.15e-9
ActRIIB(L79E 20-134)-hFc	3.74e-5	9e-4	2.41e-9
ActRIIB(R64K 20-134)-hFc	2.25e-5	4.71e-5	2.1e-10
ActRIIB(R64K 20-129)-hFc	9.74e-4	2.09e-4	2.15e-9
ActRIIB(P129S, P130R 20-134)-hFc	1.08e-5	1.8e-4	1.67e-9
ActRIIB(K74A 20-134)-hFc	2.8e-5	2.03e-5	7.18e-11
激活素A			
蛋白质	K_{on} (1/Ms)	K_{off} (1/s)	KD (M)
ActRIIB(20-134)-hFc	5.94e6	1.59e-4	2.68e-11
ActRIIB(A24N 20-134)-hFc	3.34e6	3.46e-4	1.04e-10
ActRIIB(L79D 20-134)-hFc			低结合
ActRIIB(L79E 20-134)-hFc			低结合
ActRIIB(R64K 20-134)-hFc	6.82e6	3.25e-4	4.76e-11
ActRIIB(R64K 20-129)-hFc	7.46e6	6.28e-4	8.41e-11
ActRIIB(P129S, P130R 20-134)-hFc	5.02e6	4.17e-4	8.31e-11

[0222] 这些数据验证了基于细胞测定的数据,其证明,A24N变体保持类似于ActRIIB(20-134)-hFc分子的配体-结合活性,并且L79D或L79E分子保持筒箭毒碱和GDF11结合但显示明显降低(不可计量)的与激活素A的结合。

[0223] 已产生和测试其它变体,如W02006/012627(其整体通过引用并入本文)中报告的,参见例如第59-60页,其使用偶联于该装置的配体和偶联配体上的流动受体。显著地,K74Y、K74F、K74I(和大概在K74的其它疏水性取代,诸如K74L)和D80I引起激活素A结合与GDF11结合的比相对于野生型K74分子降低。关于这些变体的数据表在下文重现:

可溶性ActRIIB-Fc变体与GDF11和激活素A的结合(BiaCore测定)

ActRIIB	ActA	GDF11
WT (64A)	KD=1.8e-7M (+)	KD= 2.6e-7M (+)
WT (64R)	na	KD= 8.6e-8M (+++)
+15尾	KD ~2.6 e-8M (+++)	KD= 1.9e-8M (++++)
E37A	*	*
R40A	-	-
D54A	-	*
K55A	++	*
R56A	*	*
K74A	KD=4.35e-9 M ++++	KD=5.3e-9M ++++
K74Y	*	--
K74F	*	--
K74I	*	--
W78A	*	*
L79A	+	*
D80K	*	*
D80R	*	*
D80A	*	*
D80F	*	*
D80G	*	*
D80M	*	*
D80N	*	*
D80I	*	--
F82A	++	-

* 没有观察到结合

-- < 1/5 WT 结合

- ~ 1/2 WT 结合

+ WT

++ < 2x 增加的结合

+++ ~5x 增加的结合

++++ ~10x 增加的结合

+++++ ~ 40x 增加的结合。

[0224] 实施例 6. ActRIIB-hFc刺激非人灵长类动物中的红细胞生成

将ActRIIB(20-134)-hFc (IgG1)对雄性和雌性食蟹猴通过皮下注射每周1次施用1个月。将48只食蟹猴(24/性别)指定到4个治疗组中的1个中(6只动物/性别/组)并皮下注射施用载体或以3、10或30 mg/kg的ActRIIB-hFc,每周1次,进行4周(总共5个剂量)。评价的参数包括一般临床病理学(血液学、临床化学、凝血和尿分析)。至15天,ActRIIB-hFc在治疗动物中引起统计学显著提高的平均绝对网织红细胞值。至36天,ActRIIB-hFc引起几种血液学变化,包括提高的平均绝对网织红细胞和红细胞分布宽度值和较低的平均红细胞血红蛋白浓度。所有治疗组和两种性别都受影响。这些效果与ActRIIB-hFc对不成熟网织红细胞从骨髓

释放的正面作用一致。这一效果在药物从治疗动物洗出后逆转(至研究第56天)。因此,我们得出以下结论:ActRIIB-hFc刺激红细胞生成。

[0225] 实施例 7. ActRIIB-mFc通过刺激脾红细胞生成活性促进小鼠中的红细胞生成方面

在本研究中,分析体内施用ActRIIB(20-134)-mFc对骨髓和脾中造血祖细胞的频率的作用。一组C57BL/6小鼠以PBS注射作为对照并且第二组小鼠施用两个剂量的10 mg/kg的ActRIIB-mFc,并且两组都在8天后处死。使用外周血进行全血计数,并使用股骨和脾进行体外集落生成测定来评价每一器官中的淋巴系、红细胞系和髓系祖细胞含量。在本研究的短时间框架中,没有见到治疗小鼠中红细胞、血红蛋白或白细胞水平的显著变化。在股骨中,在对照和治疗组之间没有有核细胞数目或祖细胞含量的差异。在脾中,化合物治疗组经历成熟红细胞系祖细胞(CFU-E)集落数目/皿、频率和总祖细胞数目/脾的统计学显著增加。此外,在髓系数目(CFU-GM)、不成熟红细胞系(BFU-E)和总祖细胞数目/脾中见到增加。

[0226] 动物:

将16只6-8周龄的C57BL/6雌性小鼠用于研究中。以10 mg/kg的剂量在第1和3天给8只小鼠皮下注射测试化合物ActRIIB-mFc,并且以每只小鼠100 μ L的体积给8只小鼠皮下注射载体对照磷酸盐缓冲盐水(PBS)。第一次注射后8天根据相关动物管理指南处死所有小鼠。通过心脏穿刺收集来自各个动物的外周血(PB)样品,并且将其用于全血计数和分类计数(CBC/Diff)。从每只小鼠收获股骨和脾。

[0227] 进行的测试:

CBC/Diff 计数

经由心脏穿刺收集来自每只小鼠的PB,并且放置在合适的微量采血管(microtainer)中。将样品送到CLV,用于在CellDyn 3500计数器上进行分析。

[0228] 集落生成测定

用下文描述的体外基于甲基纤维素的培养基系统评估髓系、红细胞系和淋巴系的集落生成祖细胞。

[0229] 成熟的红细胞系祖细胞:

在MethoCultTM 3334(即一种含有重组人(rh)促红细胞生成素(3 U/mL)的基于甲基纤维素的培养基)中培养成熟的红细胞系(CFU-E)谱系的集落生成祖细胞。

[0230] 淋巴系祖细胞:

在MethoCult[®] 3630(即一种含rh白介素7(10 ng/mL)的基于甲基纤维素的培养基)中培养淋巴系(CFU-pre-B)谱系的集落生成祖细胞。

[0231] 髓系和未成熟红细胞系祖细胞:

在MethoCultTM 3434(即一种含重组鼠(rm)干细胞因子(50 ng/mL)、rh白介素6(10 ng/mL)、rm白介素3(10 ng/mL)和rh促红细胞生成素(3 U/mL)的基于甲基纤维素的培养基)中培养粒细胞-单核细胞(CFU-GM)、红细胞系(BFU-E)和多能细胞(CFU-GEMM)谱系的集落生成祖细胞。

[0232] 方法:

通过标准方案处理小鼠股骨和脾。简言之,通过使用21号针头和1 cc注射器,用含2%胎牛血清的Iscove改良的Dulbecco培养基(IMDM 2% FBS)冲洗股骨腔,获得骨髓。通过70 μ M

过滤器挤压脾并用IMDM 2% FBS冲洗过滤器,获得脾细胞。然后用Neubauer计数室在单细胞悬浮液上进行3%冰醋酸中的有核细胞计数,从而使得可以计算每个器官的总细胞。为了除去污染红细胞,随后用3倍体积的氯化铵裂解缓冲液稀释总脾细胞,并在冰上孵育10分钟。然后洗涤细胞并且将其重悬于IMDM 2% FBS中,进行第二次细胞计数,以确定裂解后的细胞的细胞浓度。

[0233] 制备细胞原液,并添加到每个基于甲基纤维素的培养基制剂中,以获得每个培养基制剂中每种组织的最优铺板浓度。将骨髓细胞以每个培养皿 1×10^5 个细胞铺板到MethoCultTM 3334中,以评估成熟的红细胞系祖细胞,以每个培养皿 2×10^5 个细胞铺板到MethoCultTM 3630中,以评估淋巴系祖细胞,并且以每个培养皿 3×10^4 个细胞铺板到MethoCultTM 3434中,以评估未成熟的红细胞系和髓系祖细胞。将脾细胞以每个培养皿 4×10^5 个细胞铺板到MethoCultTM 3334中,以评估成熟的红细胞系祖细胞,以每个培养皿 4×10^5 个细胞铺板到MethoCultTM 3630中,以评估淋巴系祖细胞,并且以每个培养皿 2×10^5 个细胞铺板到MethoCultTM 3434中,以评估未成熟的红细胞系和髓系祖细胞。铺板到三个重复培养皿的培养物在37℃、5% CO₂中孵育,直到由受过训练的人进行集落计数和评价。将成熟的红细胞系祖细胞培养2天,将淋巴祖细胞培养7天,并将成熟的红细胞系和髓系祖细胞培养12天。

[0234] 分析:

对于集落生成测定的三次重复培养物,并且对于对照和治疗组对所有数据集计算平均值 ± 1 个标准差。

[0235] 如下计算每个组织中的集落形成细胞(CFC)的频率:

每个培养皿铺板的细胞

每个培养皿评分的平均CFC

每个股骨或脾的总CFC如下计算:

评分的总CFC $\times$ 每个股骨或脾的有核细胞计数(RBC裂解后)

培养的有核细胞数

进行标准t检验,用于评估在PBC对照小鼠和化合物治疗小鼠之间细胞或造血祖细胞的平均数是否存在差异。由于集落计数可能具有主观性,小于0.01的p值认为是显著的。每组的平均值($\pm$ SD)示于下表。

[0236] 表:血液学参数

治疗组	白细胞 ($\times 10^9/L$)	红细胞 ($\times 10^9/L$)	血红蛋白 (g/L)	红细胞比容 (L/L)
PBS (n=8)	9.53 $\pm$ 1.44	10.5 $\pm$ 1.1	160.9 $\pm$ 13.3	0.552 $\pm$ 0.057
ActRIIB-mFc (n=8)	9.77 $\pm$ 1.19	10.8 $\pm$ 0.3	162.1 $\pm$ 4.1	0.567 $\pm$ 0.019

[0237] 表:来自股骨和脾的CFC

治疗组	总CFC/股骨	总CFC/脾	总CFU-E/股骨	总CFU-E/脾
PBS (n=8)	88 +/- 10	54 +/- 14	156 +/- 27	131 +/- 71
ActRIIB-mFc (n=8)	85 +/- 9	79 +/- 6*	164 +/- 23	436 +/- 86*

* 初步分析表明 $p < 0.05$ 。

[0238] 用ActRIIB (20-134) -mFc治疗小鼠在本研究的短时间框架内不导致红细胞或血红蛋白含量的显著增加。但是,对祖细胞含量的作用是显著的。在股骨中,在对照和治疗组之间有核细胞数目或祖细胞含量方面没有差异。在脾中,化合物治疗组在红细胞裂解前的有核细胞数目和每个培养皿的成熟红细胞系祖细胞 (CFU-E) 集落数目、每个脾的频率和总祖细胞数方面经历了统计学显著的增加。此外,在每个脾的髓系祖细胞 (CFU-GM)、不成熟红细胞系祖细胞 (BFU-E) 和总祖细胞数目方面观察到了增加。因此,期望经过更长时期,ActRIIB (20-134) -mFc治疗可导致提高的红细胞和血红蛋白含量。

[0239] 实施例8:GDF捕获物在体内增加红细胞水平

将12周龄的雄性C57BL/6NTac小鼠指定到2个治疗组中的1个中 (N=10)。通过皮下注射 (SC) 以10 mg/kg对小鼠给予载体或变体ActRIIB多肽 (“GDF捕获物”) [ActRIIB (L79D 20-134) -hFc],每周2次,进行4周。在研究停止时,通过心脏穿刺收集全血到含EDTA管中并使用HM2血液学分析仪 (Abaxis, Inc) 分析细胞分布。

组指定						
组	N	小鼠	注射	剂量 (mg/kg)	途径	频率
1	10	C57BL/6	PBS	0	SC	2次/周
2	10	C57BL/6	GDF 捕获物 [ActRIIB(L79D 20-134)-hFc]	10	SC	2次/周

[0240] 与载体对照相比,用GDF捕获物治疗对白细胞 (WBC) 数目不具有统计学显著效果。相对于对照,红细胞 (RBC) 数目在治疗组中增加 (参见下表)。血红蛋白含量 (HGB) 和血细胞比容 (HCT) 两者也由于额外的红细胞而增加。红细胞的平均宽度 (RDWc) 在治疗动物中较高,表明不成熟红细胞库中的增加。因此,用GDF捕获物治疗导致红细胞增加,没有对白细胞群的可识别效果。

血液学结果				
	RBC $10^{12}/L$	HGB (g/dL)	HCT (%)	RDWc (%)
PBS	10.7 ± 0.1	14.8 ± 0.6	44.8 ± 0.4	17.0 ± 0.1
GDF 捕获物	$12.4 \pm 0.4^{**}$	$17.0 \pm 0.7^{*}$	$48.8 \pm 1.8^{*}$	$18.4 \pm 0.2^{**}$

*= $p < 0.05$, **= $p < 0.01$

[0241] 实施例9: GDF捕获物对于体内增加红细胞水平优于ActRIIB-Fc

将19周龄的雄性 C57BL/6NTac小鼠随机指定到3个组中的一个中。小鼠通过皮下注射

给予载体(10 mM Tris缓冲盐水,TBS)、野生型ActRIIB (20-134)-mFc或GDF捕获物ActRIIB (L79D 20-134)-hFc,每周2次,进行3周。在基线和给药3周后颊部放血收集血液并使用血液学分析仪(HM2, Abaxis, Inc.)分析细胞分布。

[0242] 与载体对照相比,用ActRIIB-Fc或GDF捕获物治疗不具有对白细胞(WBC)数目的显著效果。与对照或野生型构建体相比,红细胞计数(RBC)、血细胞比容(HCT)和血红蛋白水平在GDF捕获物治疗小鼠中都提高(参见下表)。因此,在直接比较中,与野生型ActRIIB-Fc蛋白质相比,GDF捕获物以显著更高的程度促进红细胞增加。事实上,在本实验中,野生型ActRIIB-Fc蛋白质不引起红细胞的统计学显著增加,表明较长或较高剂量给药对于展现该效果是需要的。

3周给药后的血液学结果

	RBC ($10^{12}/\text{ml}$)	HCT %	HGB g/dL
TBS	11.06 ± 0.46	46.78 ± 1.9	15.7 ± 0.7
ActRIIB-mFc	11.64 ± 0.09	49.03 ± 0.3	16.5 ± 1.5
GDF 捕获物	$13.19 \pm 0.2^{**}$	$53.04 \pm 0.8^{**}$	$18.4 \pm 0.3^{**}$

**= $p < 0.01$

[0243] 实施例 10. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物的产生

如实施例1中描述的,称为ActRIIB (L79D 20-134)-hFc的GDF捕获物如下产生:通过TPA前导序列与含有亮氨酸-至-天冬氨酸取代(在SEQ ID NO: 1中的残基 79)的ActRIIB胞外结构域(SEQ ID NO: 1中的残基 20-134)的N-末端融合以及人Fc结构域与最小接头(3个甘氨酸残基)的C-末端融合(图 3)。相应于该融合蛋白的核苷酸序列在图4中显示。

[0244] 称为ActRIIB (L79D 25-131)-hFc的具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物如下产生:通过TPA前导序列与含有亮氨酸-至-天冬氨酸取代(在 SEQ ID NO: 1中残基 79)的截短的胞外结构域(SEQ ID NO: 1中的残基25-131)的N-末端融合以及人Fc结构域与最小接头(3个甘氨酸残基)的C-末端融合(图5)。相应于该融合蛋白的核苷酸序列在图6中显示。

[0245] 实施例 11. 具有双截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物的选择性配体结合

用Biacore™ 仪器在体外评价GDF捕获物和其它ActRIIB-hFc蛋白质对几种配体的亲和力。结果在下面的表中概述。由于复合体的非常快的结合和解离(其阻止 $k_{\text{结合}}$ 和 $k_{\text{解离}}$ 的准确确定), K_d 值通过稳态亲和力拟合获得。

[0246] ActRIIB-hFc变体的配体选择性:

融合构建体	激活素 A (Kd e-11)	激活素 B (Kd e-11)	GDF11 (Kd e-11)
ActRIIB(L79 20-134)-hFc	1.6	1.2	3.6
ActRIIB(L79D 20-134)-hFc	1350.0	78.8	12.3
ActRIIB(L79 25-131)-hFc	1.8	1.2	3.1
ActRIIB(L79D 25-131)-hFc	2290.0	62.1	7.4

[0247] 与缺乏L79D取代的ActRIIB-hFc对应物相比,具有截短的胞外结构域的GDF捕获物ActRIIB (L79D 25-131)-hFc等于或胜过更长变体ActRIIB (L79D 20-134)-hFc展示的配体选择性,其中激活素A和激活素B结合明显丢失并且几乎完全保留GDF11结合。注意单独的截

短(没有L79D取代)不改变此处展示的配体间的选择性[比较ActRIIB(L79 25-131)-hFc与ActRIIB(L79 20-134)-hFc]。

[0248] 实施例 12. 具有替代核苷酸序列的ActRIIB(L79D 25-131)-hFc的产生

为了产生ActRIIB(L79D 25-131)-hFc,将在天然位置79 (SEQ ID NO: 1)具有天冬氨酸取代和具有N-末端和C-末端截短(SEQ ID NO: 1中的残基25-131)的人ActRIIB 胞外结构域在N-末端与TPA前导序列而不是天然ActRIIB前导序列和在C-末端与人Fc结构域经由最小接头(3个甘氨酸的残基)融合(图5)。编码该融合蛋白的一种核苷酸序列在图6中显示(SEQ ID NO: 27),并且编码完全相同融合蛋白的替代核苷酸序列在图9中显示(SEQ ID NO: 30)。该蛋白质使用实施例1中描述的方法学表达和纯化。

[0249] 实施例 13. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物增加小鼠中红细胞系祖细胞的增殖

评价ActRIIB(L79D 25-131)-hFc来确定其对红细胞系祖细胞增殖的效果。将雄性C57BL/6小鼠(8周龄)用ActRIIB(L79D 25-131)-hFc (10 mg/kg,皮下;n = 6)或载体(TBS;n = 6)在第1和4天治疗,然后在第8天安乐死,以收集脾、胫骨、股骨和血液。分离脾和骨髓的细胞,在含有5%胎牛血清的Iscove改良的Dulbecco培养基中稀释,在专门的基于甲基纤维素的培养基中悬浮,并培养2或12天以评估分别在集落形成单位-红细胞系(CFU-E)和爆发形成单位-红细胞系(BFU-E)阶段的集落生成祖细胞的水平。用于BFU-E确定的基于甲基纤维素的培养基(MethoCult M3434, Stem Cell Technologies)包括重组鼠干细胞因子、白介素-3和白介素-6,其在用于CFU-E确定的甲基纤维素培养基(MethoCult M3334, Stem Cell Technologies)中不存在,同时两种培养基都含有促红细胞生成素等其它成分。对于BFU-E和CFU-E二者,集落数目在衍生自各组织样品的重复培养板中确定,并且结果的统计学分析基于小鼠数目/治疗组。

[0250] 来自用ActRIIB(L79D 25-131)-hFc治疗的小鼠的脾衍生的培养物具有的CFU-E集落数目是来自对照小鼠的相应培养物的2倍($P < 0.05$),而BFU-E集落数目并不显著不同于体内治疗。来自骨髓培养物的CFU-E或BFU-E集落数目也不显著不同于治疗。如期望的,与对照相比,在用ActRIIB(L79D 25-131)-hFc治疗的小鼠中,在安乐死下,在脾衍生的培养物中增加的CFU-E集落数目伴随红细胞水平(11.6%增加)、血红蛋白浓度(12%增加)和血细胞比容水平(11.6%增加)的高度显著($P < 0.001$)变化。这些结果表明,体内施用具有截短的ActRIIB 胞外结构域的GDF捕获物可以刺激红细胞系祖细胞增殖,作为其增加红细胞水平的总体效果的一部分。

[0251] 实施例 14. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物抵销小鼠中化学治疗-诱导的贫血

申请人研究了在基于紫杉醇的化学治疗-诱导的贫血的小鼠模型中ActRIIB(L79D 25-131)-hFc对红细胞生成参数的作用,所述紫杉醇通过阻断微管聚合抑制细胞分裂。将雄性C57BL/6小鼠(8周龄)指定到4种治疗中的1种中:

- 1) 紫杉醇 (25 mg/kg,腹膜内)
- 2) ActRIIB(L79D 25-131)-hFc (10 mg/kg,腹膜内)
- 3) 紫杉醇 + ActRIIB(L79D 25-131)-hFc
- 4) 载体 (TBS)。

[0252] 紫杉醇在第0天施用,而ActRIIB (L79D 25-131)-hFc或载体在第0和3天施用。从单独组群在第1、3和5天收集血液样品进行CBC分析,对于治疗组1-3的结果(上述)表示为在给定时间点与载体的差异百分数。归因于紫杉醇毒性的损耗是仅紫杉醇组在第3天(其中n = 1)的问题;否则n = 3-5/治疗/时间点。与载体相比,单独的紫杉醇在第5天降低血红蛋白浓度几乎13%,而添加ActRIIB (L79D 25-131)-hFc防止这一紫杉醇-诱导的下降(图 11)。对于血细胞比容和RBC水平观察到类似的效果。在紫杉醇不存在的情况下,与载体相比,在第3和5天ActRIIB (L79D 25-131)-hFc增加血红蛋白浓度10%(图11)。因此,具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物可以增加红细胞水平,其足以抵销化学治疗-诱导的贫血。

[0253] 实施例 15. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物逆转小鼠中肾切除术诱导的贫血

申请人研究了慢性肾疾病的肾切除小鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-hFc对贫血的作用。雄性C57BL/6小鼠(11周龄)经历假手术或单侧肾切除术以降低促红细胞生成素产生的能力。使小鼠进行1周术后恢复,并然后用ActRIIB (L79D 25-131)-hFc (10 mg/kg,腹腔内;n = 15/状况)或载体(TBS; n = 15/状况)每周治疗2次周,总共4周。给药开始前和治疗4周后收集血液样品。尽管载体处理的肾切除术小鼠经过4-周治疗期展示红细胞数目的显著下降,但用ActRIIB (L79D 25-131)-hFc治疗不仅防止该下降,而且增加红细胞水平高于基线17% (P < 0.001) (图12),尽管肾脏促红细胞生成素产生能力降低。在肾切除的小鼠中,ActRIIB (L79D 25-131)-hFc也产生血红蛋白浓度和血细胞比容水平从基线的显著增加,并且在肾切除状况下显著刺激这些红细胞生成参数的每一个至与假手术状况大约相同的程度(图 13)。因此,具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物可以增加红细胞水平,其足以逆转慢性肾脏疾病模型中的贫血。

[0254] 实施例 16. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物改进大鼠中从失血诱导的贫血的恢复

申请人研究了在急性失血诱导的贫血(急性出血后贫血)的大鼠模型中ActRIIB (L79D 25-131)-hFc对红细胞生成参数的作用。雄性Sprague-Dawley大鼠(大约300 g)在供应商(Harlan)处接受长期颈导管(jugular catheter)。在第-1天,经过5-分钟时期经由导管在异氟烷麻醉下将20%的总血液体积从每一大鼠抽出。去除的血体积基于根据下列关联计算的总血体积的值,所述关联来自Lee和同事(J Nucl Med 25:72-76, 1985),用于体重大于120 g的大鼠:

$$\text{总血体积 (ml)} = 0.062 \times \text{体重 (g)} + 0.0012$$

在取血时间经由导管置换等体积的磷酸盐缓冲盐水。大鼠用ActRIIB (L79D 25-131)-hFc (10 mg/kg,皮下;n = 5)或载体(TBS; n = 5)在第0和3天治疗。用于CBC分析的血液样品经由导管在第-1(基线)、0、2、4和6天移出。

[0255] 对照大鼠响应于20%失血,红细胞水平至第0天下降将近15%。这些水平在第2和4天保持显著低于基线,并且至第6天未完全恢复(图14)。尽管用ActRIIB (L79D 25-131)-hFc治疗的大鼠在20%失血后显示几乎相同的红细胞水平降低,但这些大鼠然后至第2天展示此类水平的完全恢复,随后在第4和6天进一步提高,这代表在相应时间点相对于对照水平高度显著的改进(图14)。对于血红蛋白浓度获得类似的结果。这些发现说明,具有截短的ActRIIB 胞外结构域的GDF捕获物可以产生红细胞水平从急性出血引起的贫血的较快恢

复。

[0256] 实施例 17. 具有截短的ActRIIB细胞外结构域的GDF捕获物增加非人灵长类动物中的红细胞水平

评价在食蟹猴中两种GDF捕获物ActRIIB (L79D 20-134) -hFc和ActRIIB (L79D 25-131) -hFc它们刺激红细胞产生的能力。猴用GDF捕获物 (10 mg/kg; n = 4雄性/4雌性) 或载体 (n = 2 雄性/2雌性) 在第1和8天皮下治疗。在第1 (治疗前基线)、3、8、15、29和44天收集血液样品, 并分析红细胞水平 (图15)、血细胞比容 (图16)、血红蛋白水平 (图17) 和网织红细胞水平 (图18)。载体治疗的猴在所有治疗后时间点显示降低水平的红细胞、血细胞比容和血红蛋白, 这是重复采血的期望效果。相反, 用ActRIIB (L79D 20-134) -hFc或ActRIIB (L79D 25-131) -hFc治疗至第一治疗后时间点 (第3天) 增加这些参数并在研究持续时间将其维持在实质上提高的水平 (图15-17)。重要的是, 与载体相比, 用ActRIIB (L79D 20-134) -hFc或ActRIIB (L79D 25-131) -hFc治疗的猴中的网织红细胞水平在第8、15和29天实质上增加 (图18)。这一结果说明, GDF捕获物治疗增加红细胞前体产生, 导致提高的红细胞水平。

[0257] 总之, 这些数据说明截短的GDF捕获物以及全长变体可以用作GDF11的选择性拮抗剂和潜在相关的配体以增加体内红细胞形成。

[0258] 实施例 18. 衍生自ActRIIB5的GDF捕获物

其它人报道了替代的可溶形式的ActRIIB (指定为ActRIIB5), 其中外显子4, 包括ActRIIB跨膜结构域, 已由不同的C-末端序列替换 (W02007/053775)。

[0259] 不含其前导序列的天然人ActRIIB5的序列如下:

```
GRGEAETRECIYYNANWELEPTNQSGLEPCGEQDKRLHCYASWRNSSGTIELVK
KGCWDDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLFEAGGFEGPWAST
TIPSGGPEATAAAGDQGSGALWLCLEGPANE
```

(SEQ ID NO: 36)。

[0260] 亮氨酸-至-天冬氨酸取代或其它酸性取代可在所述天然位置79进行 (下划线和突出显示) 以构建变体ActRIIB5 (L79D), 其具有下列序列:

```
GRGEAETRECIYYNANWELEPTNQSGLEPCGEQDKRLHCYASWRNSSGTIELVK
KGCWDDDFNCYDRQECVATEENPQVYFCCCEGNFCNERFTHLFEAGGFEGPWAST
TIPSGGPEATAAAGDQGSGALWLCLEGPANE
```

(SEQ ID NO: 37)。

[0261] 该变体可用TGGG接头与人Fc连接以产生具有下列序列的人ActRIIB5 (L79D) -hFc融合蛋白:

GRGEAETRECIYYNANWELERTNQSGLERCEGEQDKRLHCYASWRNSSGTIELVK
KGCWDDDFNCYDRQECVATEENFQVYFCCCEGNFCNERFTHLFEAGGPEGPWAST
TIFSGGFEATAAAGDQSGALWLCLEGPANETGGSGTHTCFPCPAPELLGGPSVFL
FPPKPKDTLMISRTPEVTCVVVDVSHEDFEVKFENWYVDGVEVHNAKTKPREEQYN
STYRVVSVLTVTLHQDWLNGKEYKCKVSNKALPAPIEKTISKAKGQFPREPOVYTLF
PSREEMTKNQVSLTCLVKGFYPSDIAVEWESNGQPENNYKTTTPFVLDSDGSFFLY
SKLTVDKSRWQQGNVFPSCSVMHREALHNHYTQKSLSLSPGK (SEQ ID NO: 38)。

[0262] 该构建体可在CHO细胞中表达。

[0263] 实施例 19. 用EPO和具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物的组合治疗在
小鼠中的作用

EPO通过增加红细胞系前体增殖诱导红细胞形成,而GDF捕获物可以补充或增强 EPO的
效果的方式潜在地影响红细胞形成。因此,申请人研究用EPO和ActRIIB (L79D 25-131) -hFc
组合治疗对红细胞生成参数的作用。雄性C57BL/6小鼠 (9周龄) 给予单次腹膜内注射单独的
重组人EPO (依伯汀 α , 1800单位/kg)、单独的ActRIIB (L79D 25-131) -hFc (10 mg/kg)、EPO和
ActRIIB (L79D 25-131) -hFc、或载体 (Tris-缓冲盐水)。给药后72 h对小鼠安乐死来收集血
液、脾和股骨。

[0264] 处理脾和股骨以获得红细胞系前体细胞进行流式细胞术分析,去除后,将脾在含
有5%胎牛血清的Iscove改良的Dulbecco培养基中切碎并通过用来自无菌1-mL注射器的内
芯挤过70- μ m细胞滤网机械离解。对股骨清除任何残留肌肉或结缔组织并修剪末端,以允许
通过经与3-mL注射器连接的21号针用含有5%胎牛血清的Iscove改良的Dulbecco培养基冲
洗残留的骨干收集骨髓。将细胞悬液离心 (2000 rpm, 10 min) 并将细胞团块重悬浮在含有
5%胎牛血清的PBS中。将来自各个组织的细胞 (10^6) 用抗-小鼠 IgG孵育以封闭非特异性结
合,然后用针对小鼠细胞表面标记物CD71 (转铁蛋白受体) 和Ter119 (与细胞表面血型糖蛋
白A结合的抗原) 的荧光标记抗体孵育、洗涤、和通过流式细胞术分析。通过用碘化丙啶复染
将样品中的死细胞从分析排除。通过在分化过程中降低的CD71标记程度和在起始于前成红
血细胞期的末端红细胞系分化期间增加的Ter119标记程度评估脾或骨髓中的红细胞系分
化 (Socolovsky等人, 2001, Blood 98:3261-3273; Ying等人, 2006, Blood 108:123-
133)。因此,使用流式细胞术确定前成红血细胞 (CD71^高Ter119^低)、嗜碱性成红血细胞 (CD71^高
Ter119^高)、多染色性+ 正染色性成红血细胞 (CD71^中Ter119^高) 和晚期正染色性成红血细胞 +
网织红细胞 (CD71^低Ter119^高) 的数目,如所述。

[0265] 用EPO和ActRIIB (L79D 25-131) -hFc组合治疗引起红细胞令人惊讶地剧烈增加。
在该实验的72-h时间框架中,单独EPO或ActRIIB (L79D 25-131) -hFc与载体相比都不显著
增加血细胞比容,而用两种试剂组合治疗引起血细胞比容几乎25%增加,这是意料不到地协
同的,即,大于它们单独效果的总和 (图19)。这一类型的协同作用通常考虑为证明个别试剂
通过不同细胞机制起作用。对血红蛋白浓度 (图20) 和红细胞浓度 (图21) 也观察到类似结
果,其各自也通过组合治疗协同增加。

[0266] 红细胞系前体水平的分析显示更复杂的模式。在小鼠中,认为脾是负责诱导性
 (“应激”) 红细胞生成的主要器官。脾组织在72 h 的流式细胞术分析显示 EPO与载体相比

显著改变红细胞生成前体概况,增加嗜碱性成红血细胞数目超过170%,代价是晚期前体(晚期正染色性成红血细胞+网织红细胞),其降低超过三分之一(图22)。重要的是,组合治疗与载体相比显著增加嗜碱性成红血细胞,但比单独EPO的程度低,同时支持晚期前体的不减少的成熟(图22)。因此,用EPO和ActRIIB(L79D 25-131)-hFc组合治疗通过前体增殖和成熟的平衡增强增加红细胞生成。与脾相比,组合治疗后骨髓中的前体细胞概况并不略微不同于单独EPO之后的概况。申请人根据脾前体概况预测组合治疗会引起增加的网织红细胞水平并会伴有成熟红细胞水平的持续提高,如果实验延长超过72 h。

[0267] 总之,这些发现说明具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物可以与EPO组合施用以协同地增加红细胞体内形成。通过补充但未限定机制的作用,GDF捕获物可以减缓单独EPO受体激活剂的强增殖效果,并仍然允许以较低剂量的EPO受体激活剂获得红细胞的目标水平,由此避免与较高水平的EPO受体激活相关的潜在的副作用或其它问题。

[0268] 实施例20. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物在骨髓增生异常综合征的小鼠模型中提高RBC水平。

骨髓增生异常综合征(MDS)是骨髓衰竭的多样病症,其临床特征在于外周血细胞减少症、难治性贫血和进展为急性髓性白血病的风险。RBC输注是MDS中缓解疲劳、改善生活质量和延长生存期的关键维持治疗;然而,定期输注通常导致这些患者中的铁超负荷,具有对发病率和死亡率不良影响,其可以导致使用补救措施,诸如铁螯合治疗(Dreyfus, 2008, Blood Rev 22 Suppl 2:S29-34; Jabbour等人, 2009, Oncologist 14:489-496)。尽管重组促红细胞生成素(EPO)及其衍生物在小比例的MDS患者中是一种替代治疗方法(Estey, 2003, Curr Opin Hematol 10:60-67),最近的研究表明,此类试剂在一些剂量下与由于血栓栓塞事件和肿瘤生长导致的发病率和死亡率的风险增加相关(Krapf等人, 2009, Clin J Am Soc Nephrol 4:470-480; Glaspy, 2009, Annu Rev Med 60:181-192)。因此,存在对于可以增加RBC水平,而不具有伴随长期输血的铁超负荷或外源性EPO及其衍生物固有的风险的替代MDS治疗的需要。

[0269] 因此,申请人在重现MDS的关键特征(包括转化为急性白血病)的转基因小鼠模型(Lin等人, 2005, Blood 106:287-295; Beachy等人, 2010, Hematol Oncol Clin North Am 24:361-375)中研究ActRIIB(L79D 25-131)-hFc对RBC水平的影响。在三个月龄开始,雄性和雌性NUP98-HOXD13小鼠用ActRIIB(L79D 25-131)-hFc(10 mg/kg, 皮下)或载体(TBS)每周两次处理。野生型同窝小鼠用ActRIIB(L79D 25-131)-hFc或载体给药,并充当对照。给药开始前和之后每隔一个月收集血液样品,以进行CBC测量。

[0270] 在NUP98-HOXD13小鼠和野生型对照之间在基线注意到几个差异。特别地,与野生型小鼠相比,雄性NUP98-HOXD13小鼠表现出显著降低的RBC浓度(-8.8%, $p < 0.05$)和血细胞比容(-8.4%, $p < 0.05$),并且雌性NUP98-HOXD13小鼠显示类似趋势。给药三个月后的结果(平均值±SD)显示在下表中。

NUP98-HOXD13 小鼠		RBC 浓度 (10^{12} 个细胞/L)	血红蛋白浓度 (g/dL)	血细胞比容 (%)
雄性	载体 (n = 6)	6.56 ± 0.51	10.68 ± 0.68	31.83 ± 2.13
	ActRIIB(L79D 25-131)-hFc (n = 8)	$8.65 \pm 0.54^{***}$	$13.54 \pm 0.91^{***}$	$39.20 \pm 2.82^{***}$
雌性	载体 (n = 5)	6.38 ± 1.61	10.30 ± 2.58	31.96 ± 8.73
	ActRIIB(L79D 25-131)-hFc (n = 6)	$8.52 \pm 0.70^{*}$	$13.52 \pm 0.56^{*}$	$42.23 \pm 2.53^{\dagger}$

*** $p < 0.001$, 相比于雄性 + 载体

* $p < 0.05$, 相比于雌性 + 载体

$\dagger$ $p = 0.056$, 相比于雌性 + 载体。

[0271] 与载体相比, 用ActRIIB (L79D 25-131) -hFc治疗三个月在雄性和雌性NUP98-HOXD13小鼠中显著增加(增加约30%) RBC浓度和血红蛋白浓度。血细胞比容在这些雄性小鼠中也显著增加, 并且在雌性小鼠中以朝着显著的趋势增加。因此, 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物可以显著增加MDS的鼠模型中的RBC水平。然而, 输血固有地是外源性铁的来源, GDF捕获物通过经由红细胞生成促进内源性铁储存的使用而提高RBC水平, 从而避免铁超负荷及其负面后果。此外, 如实施例19中所指出, GDF捕获物通过与EPO受体激活剂使用的细胞机制不同(虽然互补)的细胞机制起作用以刺激红细胞生成, 从而避开了与EPO受体激活相关的可能副作用。

[0272] 实施例21. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物对 β -地中海贫血的小鼠模型中RBC水平和形态的影响。

在地中海贫血综合征中, 其代表无效性红细胞生成的最常见原因, 在 α -和 β -珠蛋白链表达不平衡由于成红血细胞成熟过程中细胞凋亡增加而导致贫血。RBC输注目前是地中海贫血的关键维持治疗, 但随着时间推移引起某些组织中可能致命的铁聚集(Tanno等人, 2010, Adv Hematol 2010:358283)。例如, 与铁超负荷有关的心脏疾病可以负责患有重型地中海贫血的患者死亡率的50% (Borgna-Pignatti等人, 2005, Ann NY Acad Sci 1054: 40-47)。重要的是, 内源性EPO水平通常升高, 并贡献地中海贫血综合征中的疾病病因, 以及无效性红细胞生成的其它病症; 因此, 重组EPO的治疗用途可能是不合适的。因此, 存在对于可以增加RBC水平, 而不具有伴随长期输注的铁超负荷的地中海贫血和无效性红细胞生成的其它病症的替代治疗的需要。

[0273] 申请人在中间型 β -地中海贫血的小鼠模型(其中已经缺失 β -主珠蛋白编码基因的整个编码区)中研究了ActRIIB (L79D 25-131) -mFc对RBC形成的影响。对于该 Hbb^{th-1} 等位基因纯合的小鼠表现出低色素、小血球性贫血, 其中在高比例的循环RBC中具有包涵体(Skow等人, 1983, Cell 1043:1043-1052)。在初步实验中, 将2-5个月龄的 $Hbb^{-/-}$ β -地中海贫血小鼠(C57BL/6J- Hbb^{d3th}/J)随机分配以通过每周两次皮下注射接受ActRIIB (L79D 25-131) -mFc (10 mg/kg) 或载体(Tris缓冲盐水)。用载体给药的野生型同窝小鼠充当额外对

照。给药开始前和之后定期间隔通过脸颊放血收集血液样品(100 μ l)用于CBC分析。对在基线的血液学参数的表征证实, $Hbb^{-/-}$ β -地中海贫血小鼠严重贫血(图23),并且与载体治疗的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠相比,用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗 $Hbb^{-/-}$ 小鼠4周显著增加了RBC数量,从而使该模型中观察到的贫血降低一半(图24)。还看到了红细胞比容和血红蛋白浓度的治疗相关的增加。重要的是,与载体治疗的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠相比,用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗 $Hbb^{-/-}$ 小鼠还导致了RBC形态改善以及溶血和红细胞碎片减少(图25),因此表明红细胞生成的基本改善。因此,具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物多肽可以在 β -地中海贫血的鼠模型中通过增加RBC数量和形态而提供贫血的治疗益处。通过促进红细胞成熟,同时降低贫血,GDF捕获物多肽可以治疗无效性红细胞生成。不像固有地是外源性铁的来源的输血,GDF捕获物多肽可以通过经由红细胞生成促进内源性铁储存的使用来提高RBC水平,从而避免铁超负荷及其负面后果。

[0274] 实施例22. 具有截短的ActRIIB胞外结构域的GDF捕获物对 β -地中海贫血的小鼠模型中EPO水平、脾大、骨密度和铁超负荷的影响。

与无效性红细胞生成相关的缺氧引起EPO水平升高,其可以驱动骨髓内外成红血细胞的大量扩增,导致脾大(脾脏肿大)、成红血细胞诱导的骨病变和组织铁超负荷,甚至在治疗性RBC输注不存在的情况下。未经治疗的铁超负荷导致组织铁沉积、多器官功能障碍和过早死亡(Borgna-Pignatti等人, 2005, Ann NY Acad Sci 1054:40-47; Borgna-Pignatti等人, 2011, Expert Rev Hematol 4:353-366),最经常是由于地中海贫血的严重形式中的心肌病(Lekawanvijit等人, 2009, Can J Cardiol 25:213-218)。通过增加红细胞生成有效性,GDF捕获物多肽可以不仅缓解根本贫血和EPO水平升高,而且可以缓解脾大、骨病变和组织铁超负荷相关的并发症。

[0275] 申请人在实施例21中研究的中间型 β -地中海贫血的相同小鼠模型中研究了GDF捕获物多肽对这些参数的影响。将3个月龄的 $Hbb^{-/-}$ β -地中海贫血小鼠(C57BL/6J- Hbb^{d3th} /J)随机分配以通过每周两次(持续2个月)皮下注射接受ActRIIB(L79D 25-131)-mFc (1 mg/kg, n = 7)或载体(Tris缓冲盐水, n = 7)。用载体给药的野生型同窝小鼠(n = 13)充当额外对照。在研究终止时收集血液样品(100 μ l)用于CBC分析。在研究终止时,骨矿物质密度通过双能x-射线吸收测定法(DEXA)测定,血清EPO水平通过ELISA测定,活性氧类别(ROS)用2',7'-二氯二氢荧光素二乙酸酯和流式细胞术定量(Suragani等人, 2012, Blood 119:5276-5284),并且铁调素mRNA水平通过定量聚合酶链式反应测定。

[0276] 该GDF捕获物多肽行使与无效性红细胞生成的缓减一致的多种血液效应。与载体给药的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠相比,用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗 $Hbb^{-/-}$ 小鼠2个月使RBC计数增加25%(图26)。在 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中,与载体对照相比,ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗在2个月时也显著增加了血红蛋白浓度和血细胞比容。这些变化伴随循环网织红细胞的水平下降(对于分别用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc或载体治疗的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠, $31.3 \pm 2.3\%$,相比于 $44.8 \pm 5.0\%$),这与贫血的缓解相一致。如实施例21中,与载体给药的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠相比,用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗 $Hbb^{-/-}$ 小鼠导致了RBC形态改善和红细胞碎片减少。与健康个体相比,患有地中海贫血的患者表现出RBC破坏率增加和胆红素(这是血红素分解代谢的产物和溶血的标志物)血清水平升高(Orten, 1971, Ann Clin Lab Sci 1:113-124)。在 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中,与载体相比,用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗使血清胆红素水平在2个月

时降低了近一半(图27),从而提供了以下证据:ActRIIB(L79D 25-131)-mFc可以意外地改善成熟RBC的结构/功能完整性,因为它促进RBC形成。重要的是,与相同模型中的载体相比,用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗 $Hbb^{-/-}$ 小鼠在2个月时使血清EPO水平降低超过60%(图28)。由于升高的EPO水平是 β -地中海贫血中无效性红细胞生成的标志,所以此处此类水平的降低强有力地证明,在该贫血地中海贫血的小鼠模型中,ActRIIB(L79D 25-131)-mFc缓解无效性红细胞生成本身,而不仅仅是其引起的贫血。

[0277] 该GDF捕获物多肽还产生代表无效性红细胞生成的主要并发症的终点的有益变化。在地中海贫血患者中,脾大和骨破坏两者都是由EPO刺激的红细胞系增生和髓外红细胞生成引起的。在 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中,与载体相比,用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗2个月显著降低脾脏重量(图29),并使骨矿物质密度完全恢复至野生型值(图30)。用该GDF捕获物多肽治疗也显著改善了铁稳态。血清铁由未结合(游离)的铁和与脱铁转铁蛋白(apotransferrin)(用于在循环中转运元素铁的专门蛋白)结合(形成转铁蛋白)的铁组成。血清铁构成总体内铁的相对小且不稳定组分,而血清水平的铁蛋白,主要在细胞内发现的铁储存的另一种形式,代表更大且稳定性更高的组分。铁负荷的第三个量度是转铁蛋白饱和度,即占有转铁蛋白的铁结合能力的程度。在 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中,与载体相比,ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗2个月显著降低了这些铁超负荷指标中的每一个(图31)。除了其对铁稳态的这些不同参数的影响,ActRIIB(L79D 25-131)-mFc使 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中组织铁超负荷正常化,如通过脾、肝和肾中的组织化学分析所测定的(图32)。此外,该GDF捕获物多肽对铁调素的表达行使有益作用,所述铁调素蛋白被认为是铁稳态的主要调节剂(Gantz, 2011, Blood 117:4425-4433),其水平与膳食铁摄取成反比变化。用ActRIIB(L79D 25-131)-mFc治疗逆转了 $Hbb^{-/-}$ 小鼠的肝脏中铁调素的异常低表达(图33)。最后,进行了另一项具有相似设计的研究,以确定该GDF捕获物对活性氧类别(ROS)的影响,所述活性氧类别被认为介导了铁超负荷的许多毒性作用(Rund等人, 2005, N Engl J Med 353:1135-1146)。在3个月龄的 $Hbb^{-/-}$ 小鼠中,用1 mg/kg的ActRIIB(L79D 25-131)-mFc每周两次治疗2个月几乎使ROS水平正常化(图34),并且因此预测将大大降低地中海贫血中ROS介导的组织损伤和特征在于无效性红细胞生成的其它疾病。

[0278] 总之,上述发现证明,GDF捕获物多肽可以治疗无效性红细胞生成,包括贫血和EPO水平升高,以及并发症诸如脾大、成红血细胞诱导的骨病变和铁超负荷以及它们的伴随病变。对于脾大,此类病变包括胸部或腹部疼痛和网状内皮组织增生。髓外造血不仅可以在脾脏中发生,而且可能在髓外造血假瘤形式的其它组织中发生(Musallam等人, 2012, Cold Spring Harb Perspect Med 2:a013482)。对于成红血细胞诱导的骨病变,伴随病变包括低骨矿物质密度、骨质疏松症和骨疼痛(Haidar等人, 2011, Bone 48:425-432)。对于铁超负荷,伴随病变包括铁调素抑制和膳食铁的超吸收(Musallam等人, 2012, Blood Rev 26 (Suppl 1):S16-S19),多发性内分泌腺病和肝纤维化/肝硬化(Galanello等人, 2010, Orphanet J Rare Dis 5:11),和铁超负荷心肌病(Lekawanvijit等人, 2009, Can J Cardiol 25:213-218)。与无效性红细胞生成的现有治疗相反,GDF捕获物多肽,诸如ActRIIB(L79D 25-131)-mFc能够降低鼠模型中的铁超负荷,而同时提高RBC水平。该新颖能力将GDF捕获物多肽与血液输注区分开,所述血液输注在治疗贫血的过程中固有地使身体负担外源性铁,并且这样做没有缓减无效性红细胞生成的根本状况。

[0279] 通过引用并入

本文所提及的所有出版物和专利均以其整体引用并入本文,如同每一个单独的出版物和专利均被明确地和单独地说明通过引用并入。

[0280] 尽管已经讨论了主题的具体实施方案,但上述说明书是说明性的,而非限制性的。在阅读本说明书和以下权利要求书后,许多变化形式对于本领域技术人员而言将是显而易见的。本发明的完整范围应当参考权利要求连同其等同方案的完全范围以及说明书连同此类变化形式进行确定。

ActRIIa ILGRSETQEC LFFNANWEKD RTNQTGVEPC YGDKDKRRHC FATWKNISGS
ActRIIb GRGEAETREC IYYNANWELE RTNOSGLERC EGEQDKRLHC YASWRNSSGT

IEIVKQGCWL DDINCYDRTD CVEKKDSPEV YFCCCEGNMC NEKFSYFPFM
IELVKKGCWL DDFNCYDRQE CVATEENPQV YFCCCEGNFC NERFTHLPEA

EVTQPTSNPV TPKPPT
GGPEVTYEPP PTAPT

图 1

大鼠 IIb	MTAPWAA-LALLWGS	LCAGS	GRGE	AE	ET	RE	CI	YYN	ANW	ELER	TNQS	GLER	-	CE	GEQ	DKR
猪 IIb	MTAPWAA-LALLWGS	LCVGS	GRGE	AE	ET	RE	CI	YYN	ANW	ELER	TNQS	GLER	-	CE	GEQ	DKR
小鼠 IIb	MTAPWAA-LALLWGS	LCAGS	GRGE	AE	ET	RE	CI	YYN	ANW	ELER	TNQS	GLER	-	CE	GEQ	DKR
人 IIb	MTAPWVA-LALLWGS	LCAGS	GRGE	AE	ET	RE	CI	YYN	ANW	ELER	TNQS	GLER	-	CE	GEQ	DKR
牛 IIb	MTAPWAA-LALLWGS	LCAGS	GRGE	AE	ET	RE	CI	YYN	ANW	ELER	TNQS	GLER	-	CE	GEQ	DKR
爪蟾属 IIb	MGASVALTFL	LLATFR	AGSGH	DE	VE	ET	RE	CI	YYN	ANW	ELEK	TNQS	GV	ER	LV	GKKDKR
人 IIA	MGAACKLAF	AVFLIS	CS	SGA	ILGR	SETQ	EC	ILFF	NANW	EKDR	TNQT	GV	EP	-	CY	GDKDKR
共有	MtApwaaXIIa	IlIwqslIc	aGsqrg	ae	aET	rEC	i	yyN	ANW	ELER	TNQS	GLER	Lce	Ge	q	DKR
大鼠 IIb	LHCYASWPN	SSGT	IE	LV	KKGC	WLD	DF	NC	YDR	QEC	VA	TE	EN	PQ	VY	FC
猪 IIb	LHCYASWRN	SSGT	IE	LV	KKGC	WLD	DF	NC	YDR	QEC	VA	TE	EN	PQ	VY	FC
小鼠 IIb	LHCYASWRN	SSGT	IE	LV	KKGC	WLD	DF	NC	YDR	QEC	VA	TE	EN	PQ	VY	FC
人 IIb	LHCYASWRN	SSGT	IE	LV	KKGC	WLD	DF	NC	YDR	QEC	VA	TE	EN	PQ	VY	FC
牛 IIb	LHCYASWRN	SSGT	IE	LV	KKGC	WLD	DF	NC	YDR	QEC	VA	TE	EN	PQ	VY	FC
爪蟾属 IIb	LHCYASWRN	SSGT	IE	LV	KKGC	WLD	DF	NC	YDR	QEC	VA	TE	EN	PQ	VY	FC
人 IIA	RHCFA	TMKNI	SGS	IE	IV	KQGC	WLD	DI	NC	YDR	TD	CV	EK	DS	P	EV
共有	IHCYAs	W	rN	s	S	G	t	I	E	I	V	K	k	G	C	W
大鼠 IIb	HLPEPGGP	EV	TY	EP	-	PP	T	A	P	T	L	T	V	L	A	Y
猪 IIb	HLPEAGGP	EV	TY	EP	-	PP	T	A	P	T	L	T	V	L	A	Y
小鼠 IIb	HLPEPGGP	EV	TY	EP	-	PP	T	A	P	T	L	T	V	L	A	Y
人 IIb	HLPEAGGP	EV	TY	EP	-	PP	T	A	P	T	L	T	V	L	A	Y
牛 IIb	HLPEAGGP	EV	TY	EP	-	PP	T	A	P	T	L	T	V	L	A	Y
爪蟾属 IIb	HLPEV	-	-	ET	ED	PK	PO	PS	A	S	V	L	N	I	L	I
人 IIA	YFP	EME	V	T	Q	P	T	S	N	P	-	V	T	P	K	P
共有	hIIP	EX	g	q	p	e	v	T	y	e	P	K	p	p	t	a

图 2

1 MDAMKRGLCC VLLLCGAVFV SPGASGRGEA ETRECIYYNA NWELERTNQS
51 GLERCEGEQD KRLHCYASWR NSSGTIELVK KGCWDDDFNC YDRQECVATE
101 ENPQVYFCCC EGNFCNERFT HLPEAGGPEV TYEPPPTAPT GGGTHTCPPC
151 PAPELLGGPS VFLFPPKPKD TLMISRTPEV TCVVVDVSHE DPEVKFNWYV
201 DGVEVHNAKT KPREEQYNST YRVVSVLTVL HQDWLNGKEY KCKVSNKALP
251 APIEKTISKA KGQPREPQVY TLPPSREEMT KNQVSLTCLV KGFYPSDIAV
301 EWESNGQPEN NYKTTTPVLD SDGSFFLYSK LTVDKSRWQQ GNVFSCSVMH
351 EALHNHYTQK SLSLSPGK

图 3

```

1 ATGGATGCAA TGAAGAGAGG GCTCTGCTGT GTGCTGCTGC TGTGTGGAGC
  TACCTACGTT ACTTCTCTCC CGAGACGACA CACGACGACG ACACACCTCG

51 AGTCTTCGTT TCGCCCGGCG CCTCTGGGCG TGGGGAGGCT GAGACACGGG
  TCAGAAGCAA AGCGGGCCGC GGAGACCCGC ACCCTCCGA CTCTGTGCCC

101 AGTGCATCTA CTACAACGCC AACTGGGAGC TGGAGCGCAC CAACCAGAGC
  TCACGTAGAT GATGTTGCGG TTGACCCTCG ACCTCGCGTG GTTGGTCTCG

151 GGCCTGGAGC GCTGCGAAGG CGAGCAGGAC AAGCGGCTGC ACTGCTACGC
  CCGGACCTCG CGACGCTTCC GCTCGTCCTG TTCGCCGACG TGACGATGCG

201 CTCCTGGCGC AACAGCTCTG GCACCATCGA GCTCGTGAAG AAGGGCTGCT
  GAGGACCGCG TTGTCGAGAC CGTGGTAGCT CGAGCACTTC TTCCCGACGA

251 GGGATGATGA CTTCAACTGC TACGATAGGC AGGAGTGTGT GGCCACTGAG
  CCCTACTACT GAAGTTGACG ATGCTATCCG TCCTCACACA CCGGTGACTC

301 GAGAACCCCC AGGTGTACTT CTGCTGCTGT GAAGGCAACT TCTGCAACGA
  CTCTTGGGGG TCCACATGAA GACGACGACA CTTCGTTGA AGACGTTGCT

351 GCGCTTCACT CATTTGCCAG AGGCTGGGGG CCCGGAAGTC ACGTACGAGC
  CGCGAAGTGA GTAAACGGTC TCCGACCCCC GGGCCTTCAG TGCATGCTCG

401 CACCCCCGAC AGCCCCCACC GGTGGTGGAA CTCACACATG CCCACCGTGC
  GTGGGGGCTG TCGGGGGTGG CCACCACCTT GAGTGTGTAC GGGTGGCAGC

451 CCAGCACCTG AACTCCTGGG GGGACCGTCA GTCTTCCTCT TCCCCCAAA
  GGTCGTGGAC TTGAGGACCC CCCTGGCAGT CAGAAGGAGA AGGGGGGTTT

501 ACCCAAGGAC ACCCTCATGA TCTCCCGGAC CCCTGAGGTC ACATGCGTGG
  TGGGTTCTTG TGGGAGTACT AGAGGGCCTG GGGACTCCAG TGTACGCACC

551 TGGTGGACGT GAGCCACGAA GACCCTGAGG TCAAGTTCAA CTGGTACGTG
  ACCACCTGCA CTCGGTGCTT CTGGGACTCC AGTTCAAGTT GACCATGCAC

601 GACGGCGTGG AGGTGCATAA TGCCAAGACA AAGCCGCGGG AGGAGCAGTA
  CTGCCGCACC TCCACGTATT ACGGTTCTGT TTCGGCGCCC TCCTCGTCAT

651 CAACAGCACG TACCGTGTGG TCAGCGTCCT CACCGTCCTG CACCAGGACT
  GTTGTGCTGC ATGGCACACC AGTCGCAGGA GTGGCAGGAC GTGGTCCTGA

```

图 4


```

701 GGCTGAATGG CAAGGAGTAC AAGTGCAAGG TCTCCAACAA AGCCCTCCCA
    CCGACTTACC GTTCCTCATG TTCACGTTCC AGAGGTTGTT TCGGGAGGGT

751 GCCCCCATCG AGAAAACCAT CTCCAAAGCC AAAGGGCAGC CCCGAGAACC
    CGGGGGTAGC TCTTTTG GTA GAGGTTTCGG TTTCCCGTCG GGGCTCTTGG

801 ACAGGTGTAC ACCCTGCCCC CATCCCGGGA GGAGATGACC AAGAACCAGG
    TGTCCACATG TGGGACGGGG GTAGGGCCCT CCTCTACTGG TTCTTGGTCC

851 TCAGCCTGAC CTGCCTGGTC AAAGGCTTCT ATCCCAGCGA CATCGCCGTG
    AGTCGGACTG GACGGACCAG TTTCCGAAGA TAGGGTCGCT GTAGCGGCAC

901 GAGTGGGAGA GCAATGGGCA GCCGGAGAAC AACTACAAGA CCACGCCTCC
    CTCACCCTCT CGTTACCCGT CGGCCTCTTG TTGATGTTCT GGTGCGGAGG

951 CGTGCTGGAC TCCGACGGCT CCTTCTTCCT CTATAGCAAG CTCACCGTGG
    GCACGACCTG AGGCTGCCGA GGAAGAAGGA GATATCGTTC GAGTGGCACC

1001 ACAAGAGCAG GTGGCAGCAG GGGAACGTCT TCTCATGCTC CGTGATGCAT
    TGTTCTCGTC CACCGTCGTC CCCTTGCAGA AGAGTACGAG GCACTACGTA

1051 GAGGCTCTGC ACAACCACTA CACGCAGAAG AGCCTCTCCC TGTCCCCGGG
    CTCCGAGACG TGTTGGTGAT GTGCGTCTTC TCGGAGAGGG ACAGGGGCCC

1101 TAAATGA (SEQ ID NO:25)
    ATTTACT (SEQ ID NO:33)

```

图 4(续)

```

1  MDAMKRG LCC VLLLCGAVFV SPGAAEETREC IYYNANWELE RTNQSGLERC
51  EGEQDKRLHC YASWRNSSGT IELVKKGCWD DDFNCYDRQE CVATEENPQV
101 YFCCCEGNFC NERFTHLPEA GGPEVITYEPP PTGGGTHTCP PCPAPELLGG
151 PSVFLFPPKP KDTLMISRTP EVTCVVVDVS HEDPEVKFNW YVDGVEVHNA
201 KTKPREEQYN STYRVVSVLT VLHQDWLNGK EYKCKVSNKA LPAPIEKTIS
251 KAKGQPREPQ VYTLPPSREE MTKNQVSLTC LVKGFYPSDI AVEWESNGQP
301 ENNYKTTTPV LDSDGSFFLY SKLTVDKSRW QQGNVFSCSV MHEALHNHYT
351 QKSLSLSPGK (SEQ ID NO: 26)

```

图 5

```

1  ATGGATGCAA TGAAGAGAGG GCTCTGCTGT GTGCTGCTGC TGTGTGGAGC
   TACCTACGTT ACTTCTCTCC CGAGACGACA CACGACGACG ACACACCTCG

51  AGTCTTCGTT TCGCCCGGCG CCGCTGAGAC ACGGGAGTGC ATCTACTACA
   TCAGAAGCAA AGCGGGCCGC GCGGACTCTG TGCCCTCACG TAGATGATGT

101 N A N W E L E R T N Q S G L E R C
    ACGCCAAC TG GGAGCTGGAG CGCACCAACC AGAGCGGCCT GGAGCGCTGC
    TCGGTTGAC CCTCGACCTC GCGTGGTTGG TCTCGCCGGA CCTCGCGACG

151 E G E Q D K R L H C Y A S W R N S
    GAAGGCGAGC AGGACAAGCG GCTGCACTGC TACGCCTCCT GGCGCAACAG
    CTTCGCTCG TCCTGTTCGC CGACGTGACG ATGCGGAGGA CCGCGTTGTC

201 S G T I E L V K K G C W D D D F
    CTCTGGCACC ATCGAGCTCG TGAAGAAGGG CTGCTGGGAC GATGACTTCA
    GAGACCGTGG TAGCTCGAGC ACTTCTTCCC GACGACCCTG CTACTGAAGT

251 N C Y D R Q E C V A T E E N P Q V
    ACTGCTACGA TAGGCAGGAG TGTGTGGCCA CTGAGGAGAA CCCCCAGGTG
    TGACGATGCT ATCCGTCCTC ACACACCGGT GACTCCTCTT GGGGGTCCAC

301 Y F C C C E G N F C N E R F T H L
    TACTTCTGCT GCTGTGAAGG CAACTTCTGC AACGAGCGCT TCACTCATTT
    ATGAAGACGA CGACACTTCC GTTGAAGACG TTGCTCGCGA AGTGAGTAAA

351 P E A G G P E V T Y E P P P T
    GCCAGAGGCT GGGGGCCCGG AAGTCACGTA CGAGCCACCC CCGACAGGTG
    CCGTCTCCGA CCCCCGGGCC TTCAGTGCAT GCTCGGTGGG GGCTGTCCAC

401 GTGGAAC TCA CACATGCCCA CCGTGCCCAG CACCTGAACT CCTGGGGGGA
    CACCTTGAGT GTGTACGGGT GGCACGGGTC GTGGACTTGA GGACCCCCCT

451 CCGTCAGTCT TCCTCTTCCC CCCAAAACCC AAGGACACCC TCATGATCTC
    GGCAGTCAGA AGGAGAAGGG GGGTTTGGG TTCCTGTGGG AGTACTAGAG

501 CCGGACCCCT GAGGTCACAT GCGTGGTGGT GGACGTGAGC CACGAAGACC
    GGCCTGGGGA CTCCAGTGTA CGCACCACCA CCTGCACTCG GTGCTTCTGG

551 CTGAGGTCAA GTTCAACTGG TACGTGGACG GCGTGGAGGT GCATAATGCC
    GACTCCAGTT CAAGTTGACC ATGCACCTGC CGCACCTCCA CGTATTACGG

```

图 6

```

601 AAGACAAAGC CGCGGGAGGA GCAGTACAAC AGCACGTACC GTGTGGTCAG
    TTCTGTTTCG GCGCCCTCCT CGTCATGTTG TCGTGCATGG CACACCAGTC

651 CGTCCTCACC GTCCTGCACC AGGACTGGCT GAATGGCAAG GAGTACAAGT
    GCAGGAGTGG CAGGACGTGG TCCTGACCGA CTTACCGTTC CTCATGTTCA

701 GCAAGGTCTC CAACAAAGCC CTCCCAGCCC CCATCGAGAA AACCATCTCC
    CGTTCCAGAG GTTGTTCGG GAGGGTCGGG GGTAGCTCTT TTGGTAGAGG

751 AAAGCCAAAG GGCAGCCCCG AGAACCACAG GTGTACACCC TGCCCCCATC
    TTTCGGTTTC CCGTCGGGGC TCTTGGTGTC CACATGTGGG ACGGGGGTAG

801 CCGGGAGGAG ATGACCAAGA ACCAGGTCAG CCTGACCTGC CTGGTCAAAG
    GGCCCTCCTC TACTGGTTCT TGGTCCAGTC GGACTGGACG GACCAGTTTC

851 GCTTCTATCC CAGCGACATC GCCGTGGAGT GGGAGAGCAA TGGGCAGCCG
    CGAAGATAGG GTCGCTGTAG CGGCACCTCA CCCTCTCGTT ACCCGTCGGC

901 GAGAACAAC TACAAGACCAC GCCTCCCGTG CTGGACTCCG ACGGCTCCTT
    CTCTTGTTGA TGTTCTGGTG CGGAGGGCAC GACCTGAGGC TGCCGAGGAA

951 CTTCCTCTAT AGCAAGCTCA CCGTGGACAA GAGCAGGTGG CAGCAGGGGA
    GAAGGAGATA TCGTTCGAGT GGCACCTGTT CTCGTCCACC GTCGTCCCCT

1001 ACGTCTTCTC ATGCTCCGTG ATGCATGAGG CTCTGCACAA CCACTACACG
    TGCAGAAGAG TACGAGGCAC TACGTACTCC GAGACGTGTT GGTGATGTGC

1051 CAGAAGAGCC TCTCCCTGTC CCCGGGTAAA TGA (SEQ ID NO: 27)
    GTCTTCTCGG AGAGGGACAG GGGCCATTT ACT (SEQ ID NO: 34)

```

图 6(续)

```

1  EITRECIYYNA NWELERTNQS GLERCEGEQD KRLHCYASWR NSSGTIELVK
51  KGCWDDDFNC YDRQECVATE ENPQVYFCCC EGNFCNERFT HLPEAGGPEV
101 TYEPPPTGGG THTCPPCPAP ELLGGPSVFL FPPKPKDTLM ISRTPEVTCV
151 VVDVSHEDPE VKFNWYVDGV EVHNAKTKPR EEQYNSTYRV VSVLTVLHQD
201 WLNGKEYKCK VSNKALPAPI EKTISKAKGQ PREPQVYTLF PSREEMTKNQ
251 VSLTCLVKGF YPSDIAVEWE SNGQPENNYK TTPPVLDSDG SFFLYSKLTV
301 DKSRWQQGNV FSCSVMEAL HNHYTQKSLS LSPGK (SEQ ID NO: 28)

```

图 7

1 ETRECIYYNA NWELERTNQS GLERCEGEQD KRLHCYASWR NSSGTIELVK
51 KGCWDDDFNC YDRQECVATE ENPQVYFCCC EGNFCNERFT HLPEAGGPEV
101 TYEPPPT (SEQ ID NO: 29)

图 8

```

1  ATGGATGCAA TGAAGAGAGG GCTCTGCTGT GTGCTGCTGC TGTGTGGAGC
   TACCTACGTT ACTTCTCTCC CGAGACGACA CACGACGACG ACACACCTCG

51  AGTCTTCGTT TCGCCCGGCG CCGCCGAAAC CCGCGAATGT ATTATTTACA
   TCAGAAGCAA AGCGGGCCGC GGCGGCTTTG GGCGCTTACA TAAATAATGT

101 N A N W E L E R T N Q S G L E R C
    ATGCTAATTG GGAACTCGAACGGACGAACC AATCGGGCTCGAACGGTGTCT
    TACGATTAAC CCTTGAGCTT GCCTGCTTGG TTAGGCCCGA GCTTGCCACA

151 E G E Q D K R L H C Y A S W R N S
    GAGGGGGAAC AGGATAAAACG CCTCCATTGC TATGCGTCGT GGAGGAACTCCT
    CTCCCCCTTG TCCTATTTGC GGAGGTAACG ATACGCAGCA CCTCCTTGAG

201 S G T I E L V K K G C W D D D F
    CTCCGGGACG ATTGAACTGG TCAAGAAAGG GTGCTGGGAC GACGATTTCCA
    GAGGCCCTGC TAACTTGACC AGTTCTTTCC CACGACCCTG CTGCTAAAGT

251 N C Y D R Q E C V A T E E N P Q V
    ATTGTTATGA CCGCCAGGAA TGTGTCGGGA CCGAAGAGAA TCCGCAGGTCCT
    TAACAATACT GGCGGTCCTT ACACAGCGCT GGCTTCTCTT AGGCGTCCAG

301 Y F C C C E G N F C N E R F T H L
    TATTTCTGTCT GTTGCGAGGG GAATTTCTGTCT AATGAACGGTCT TTACCCACCTCT
    ATAAAGACAA CAACGCTCCC CTTAAAGACA TTACTTGCCA AATGGGTGGA

351 P E A G G P E V T Y E P P P T
    CCCCGAAGCC GGCGCGCCCG AGGTGACCTA TGAACCCCGCG CCCACCGGTGCT
    GGGGCTTCGG CCGCCCGGGC TCCACTGGAT ACTTGGGGGC GGGTGGCCAC

401 GTGGAACTCA CACATGCCCC CCGTGCCCAG CACCTGAACT CCTGGGGGGA
    CACCTTGAGT GTGTACGGGT GGCACGGGTC GTGGACTTGA GGACCCCCCT

451 CCGTCAGTCT TCCTCTTCCC CCCAAAACCC AAGGACACCC TCATGATCTC
    GGCAGTCAGA AGGAGAAGGG GGGTTTTGG TTCCTGTGGG AGTACTAGAG

501 CCGGACCCCT GAGGTCACAT GCGTGGTGGT GGACGTGAGC CACGAAGACC
    GGCTTGGGGA CTCCAGTGTA CGCACCACCA CCTGCACTCG GTGCTTCTGG

551 CTGAGGTCAA GTTCAACTGG TACGTGGACG GCGTGGAGGT GCATAATGCC
    GACTCCAGTT CAAGTTGACC ATGCACCTGC CGCACCTCCA CGTATTACGG

```

图 9

```

601 AAGACAAAGC CGCGGGAGGA GCAGTACAAC AGCACGTACC GTGTGGTCAG
    TTCTGTTTCG GCGCCCTCCT CGTCATGTTG TCGTGCATGG CACACCAGTC

651 CGTCCTCACC GTCCTGCACC AGGACTGGCT GAATGGCAAG GAGTACAAGT
    GCAGGAGTGG CAGGACGTGG TCCTGACCGA CTTACCGTTC CTCATGTTCA

701 GCAAGGTCTC CAACAAAGCC CTCCCAGCCC CCATCGAGAA AACCATCTCC
    CGTTCCAGAG GTTGTTTCGG GAGGGTCGGG GGTAGCTCTT TTGGTAGAGG

751 AAAGCCAAAG GGCAGCCCCG AGAACCACAG GTGTACACCC TGCCCCCATC
    TTTCGGTTTC CCGTCGGGGC TCTTGGTGTC CACATGTGGG ACGGGGGTAG

801 CCGGGAGGAG ATGACCAAGA ACCAGGTCAG CCTGACCTGC CTGGTCAAAG
    GGCCCTCCTC TACTGGTTCT TGGTCCAGTC GGACTGGACG GACCAGTTTC

851 GCTTCTATCC CAGCGACATC GCCGTGGAGT GGGAGAGCAA TGGGCAGCCG
    CGAAGATAGG GTCGCTGTAG CGGCACCTCA CCCTCTCGTT ACCCGTCGGC

901 GAGAACAAC TACAAGACCAC GCCTCCCGTG CTGGACTCCG ACGGCTCCTT
    CTCTTGTTGA TGTTCTGGTG CGGAGGGCAC GACCTGAGGC TGCCGAGGAA

951 CTTCCTCTAT AGCAAGCTCA CCGTGGACAA GAGCAGGTGG CAGCAGGGGA
    GAAGGAGATA TCGTTCGAGT GGCACCTGTT CTCGTCCACC GTCGTCCCCT

1001 ACGTCTTCTC ATGCTCCGTG ATGCATGAGG CTCTGCACAA CCACTACACG
    TGCAGAAGAG TACGAGGCAC TACGTACTCC GAGACGTGTT GGTGATGTGC

1051 CAGAAGAGCC TCTCCCTGTC CCCGGGTAAA TGA (SEQ ID NO: 30)
    GTCTTCTCGG AGAGGGACAG GGGCCATTT ACT (SEQ ID NO: 35)

```

图 9(续)

```

    GAAC CCGCAATGT ATTTATTACA ATGCTAATTG GGAACTCGA
CGGACGAACC AATCCGGGCT CGAACGGTGT GAGGGGGAAC AGGATAAACG
CCTCATTCG TATGCGTCGT GGAGGAACTC CTCGGGACG ATTGAACTGG
TCAAGAAAGG GTGCTGGGAC GACGATTTCA ATTGTTATGA CCGCCAGGAA
TGTGTCGCGA CCGAAGAGAA TCCGCAGGTC TATTTCTGTT GTTGCGAGGG
GAATTTCTGT AATGAACGGT TTACCCACCT CCCGAAGCC GCGGGCCCG
AGGTGACCTA TGAACCCCG CCCACC (SEQ ID NO: 31)

```

图 10

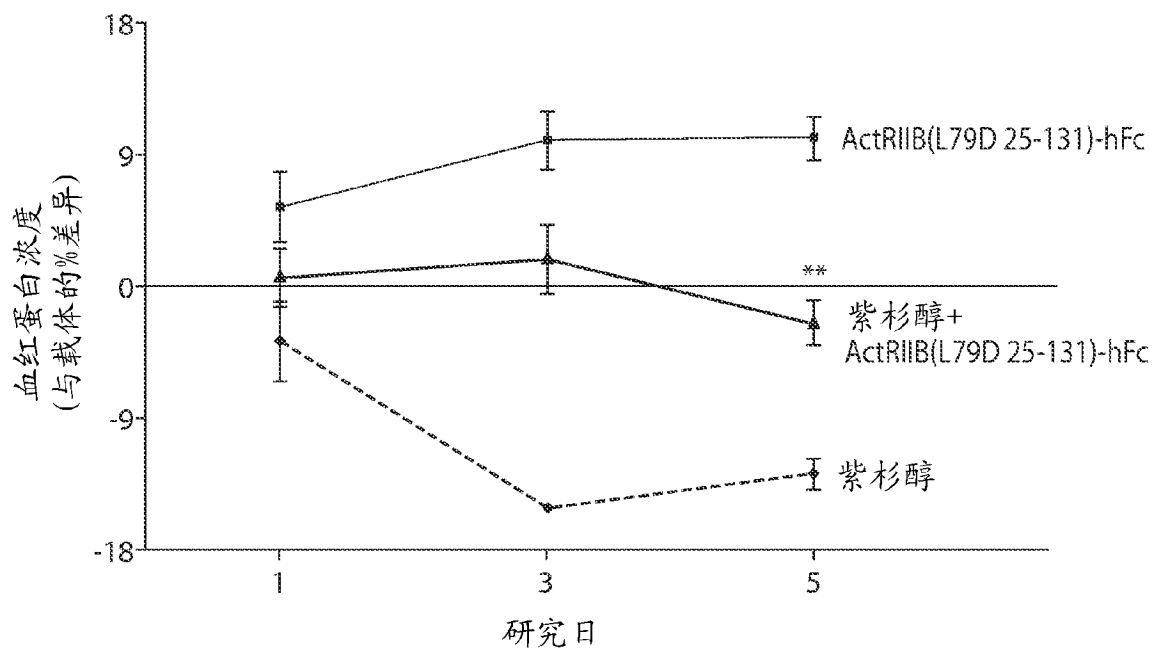


图 11

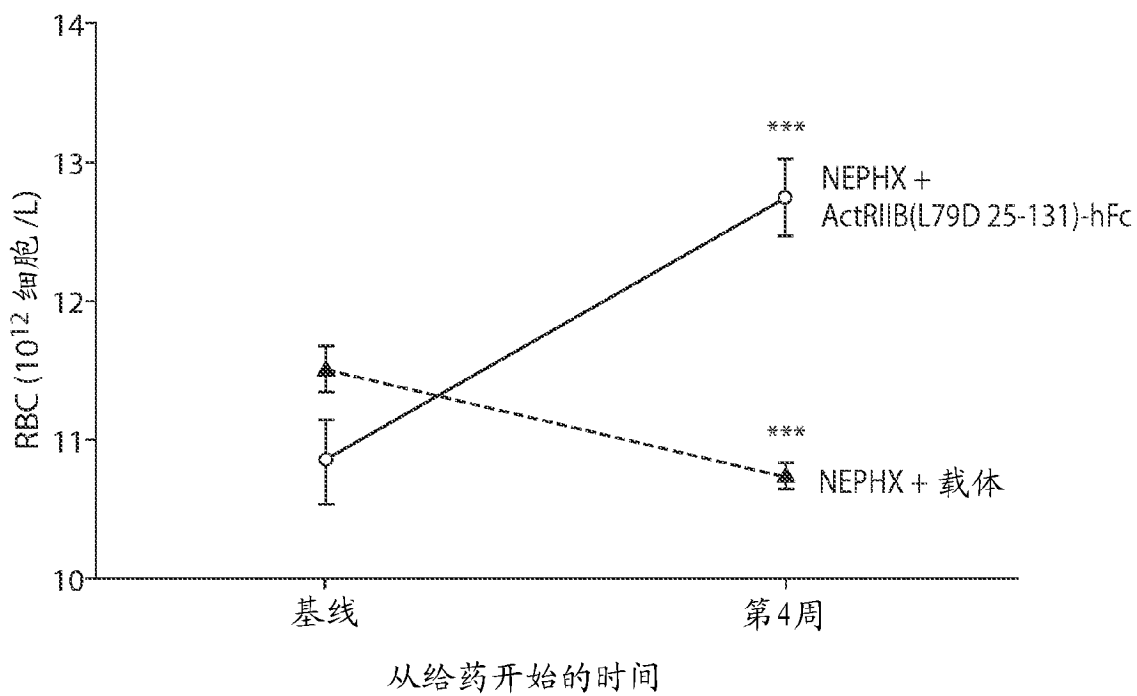


图 12

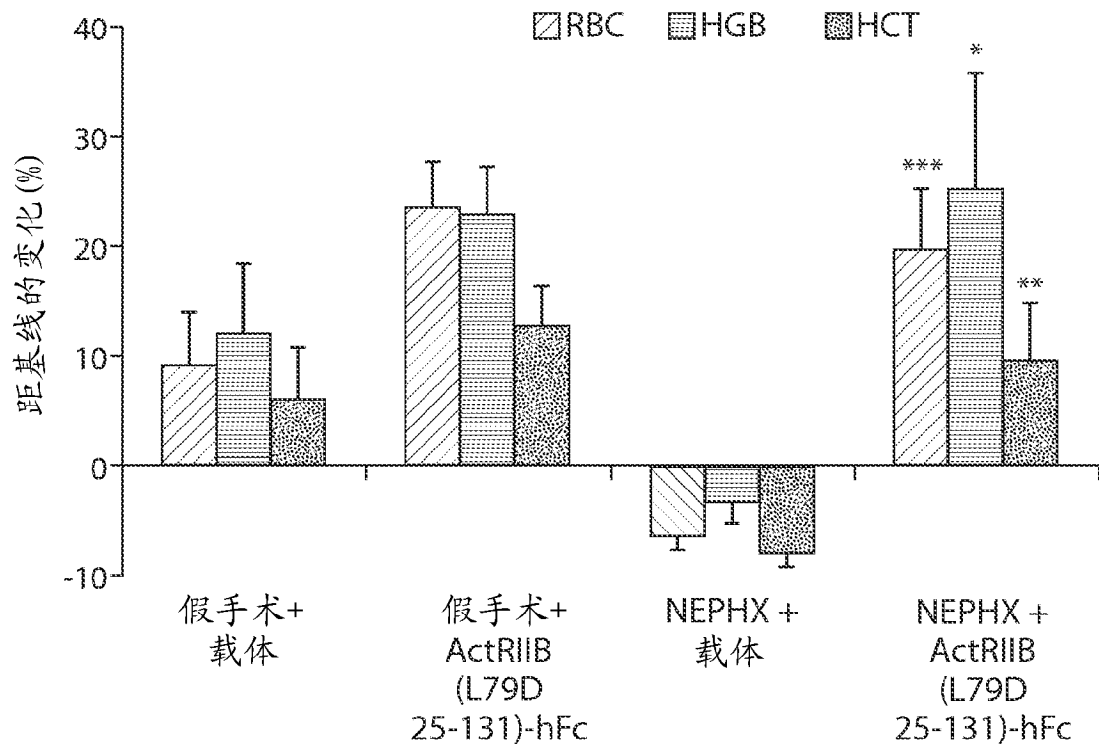


图 13

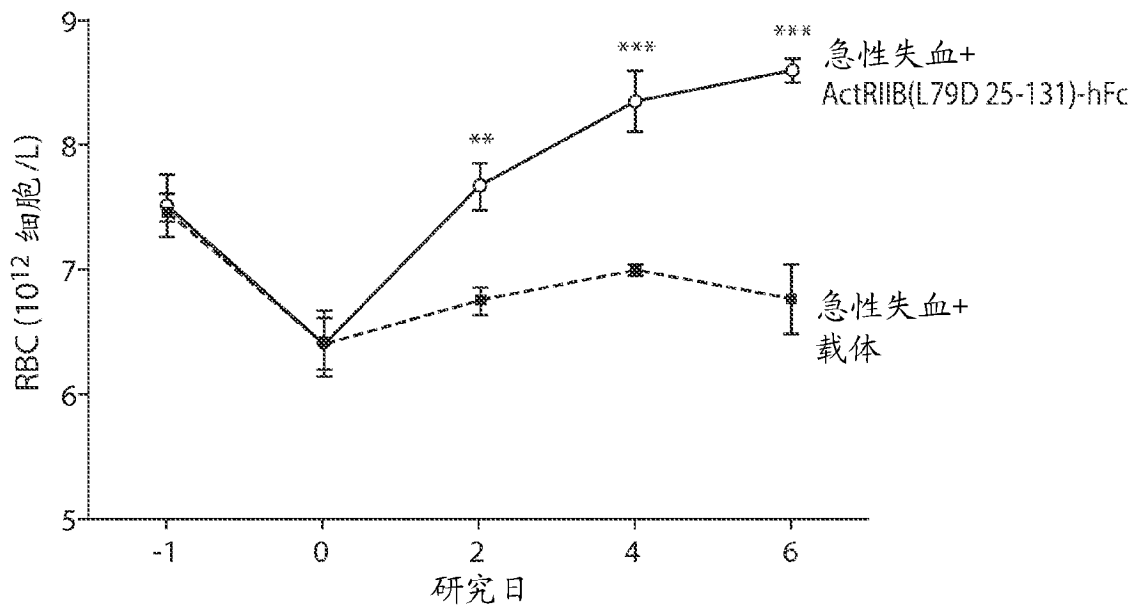


图 14

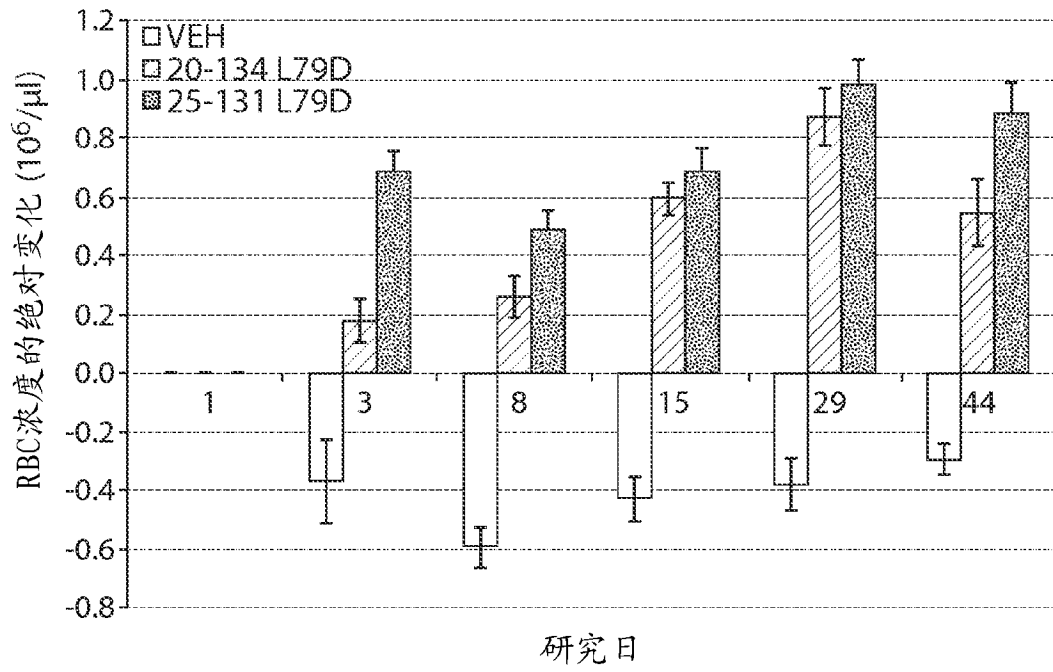


图 15

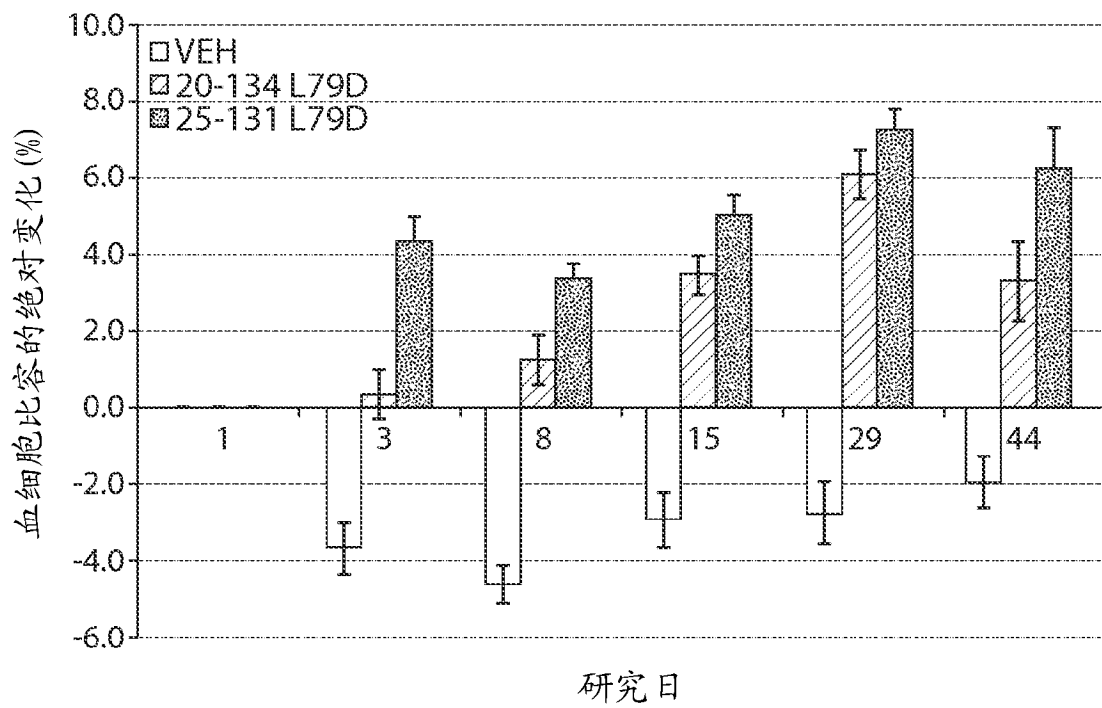


图 16

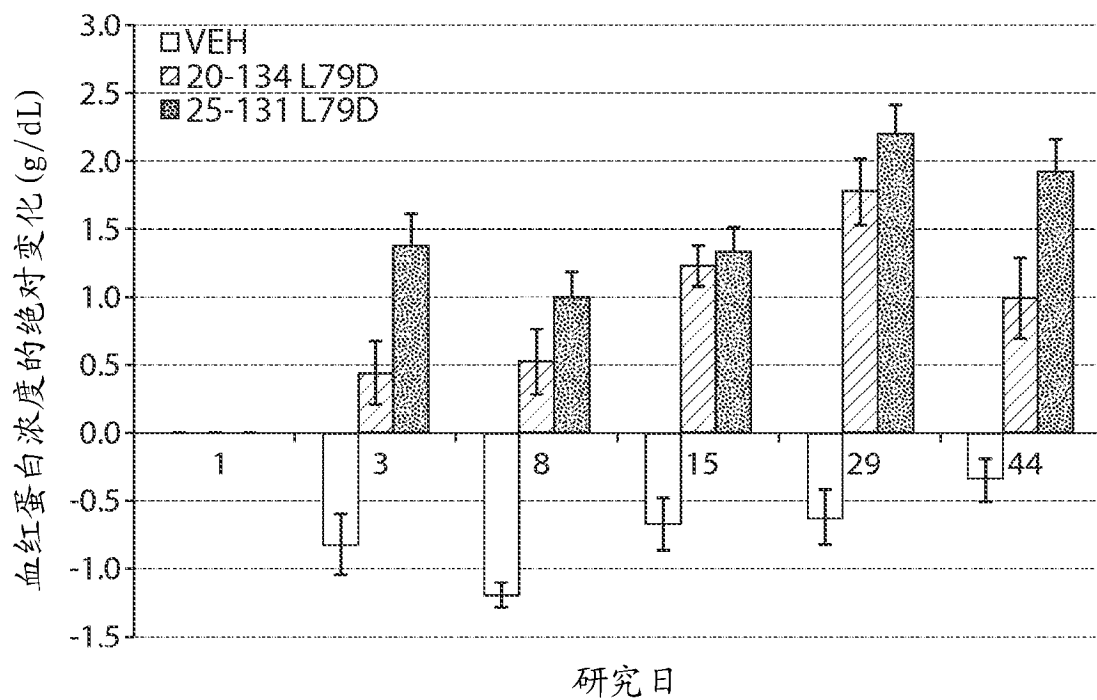


图 17

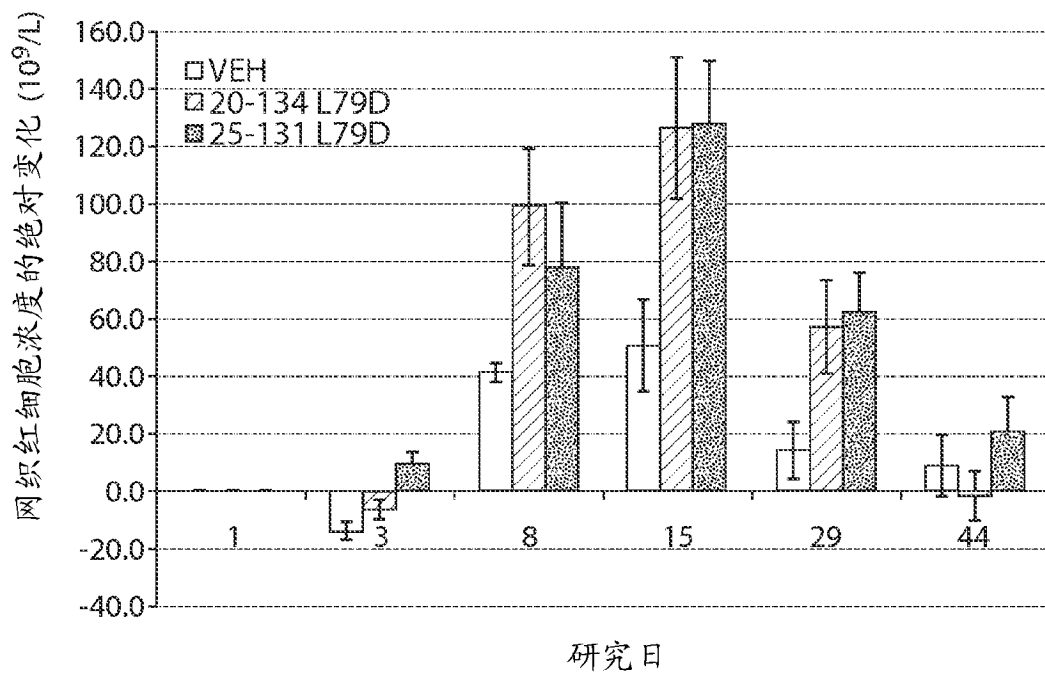


图 18

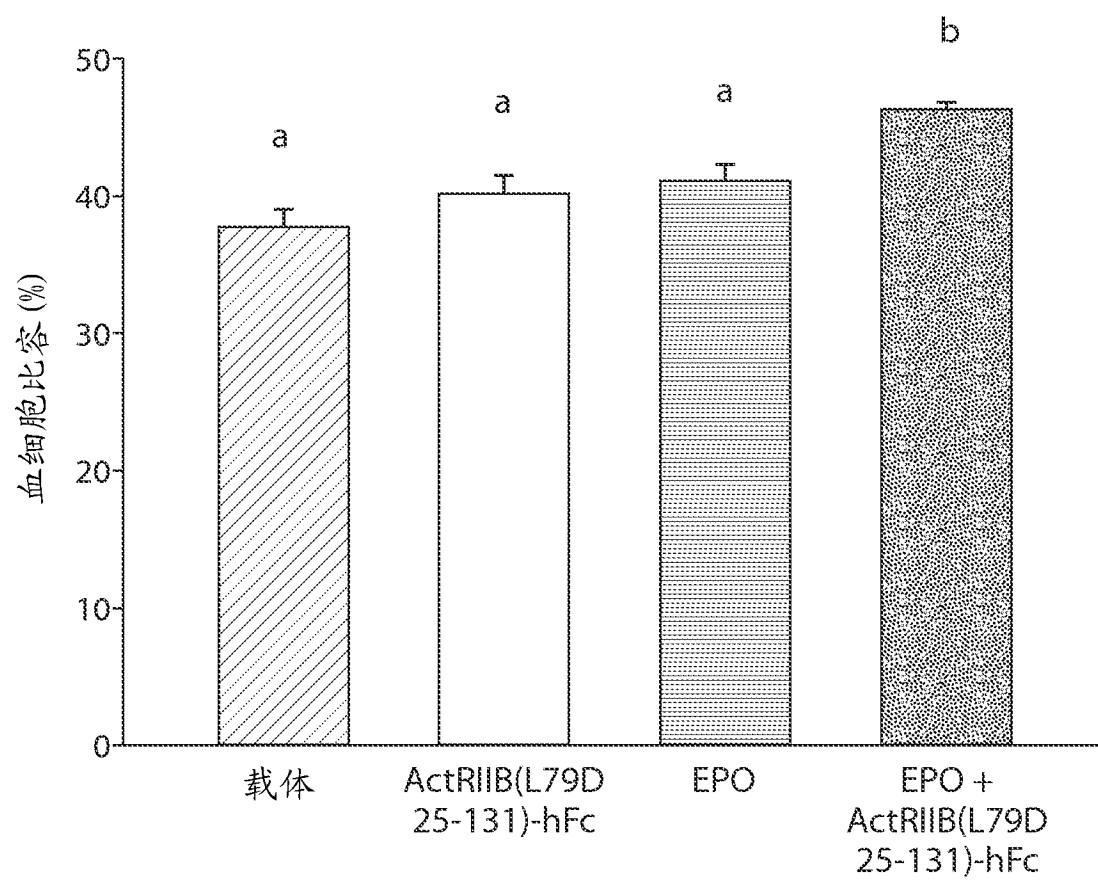


图 19

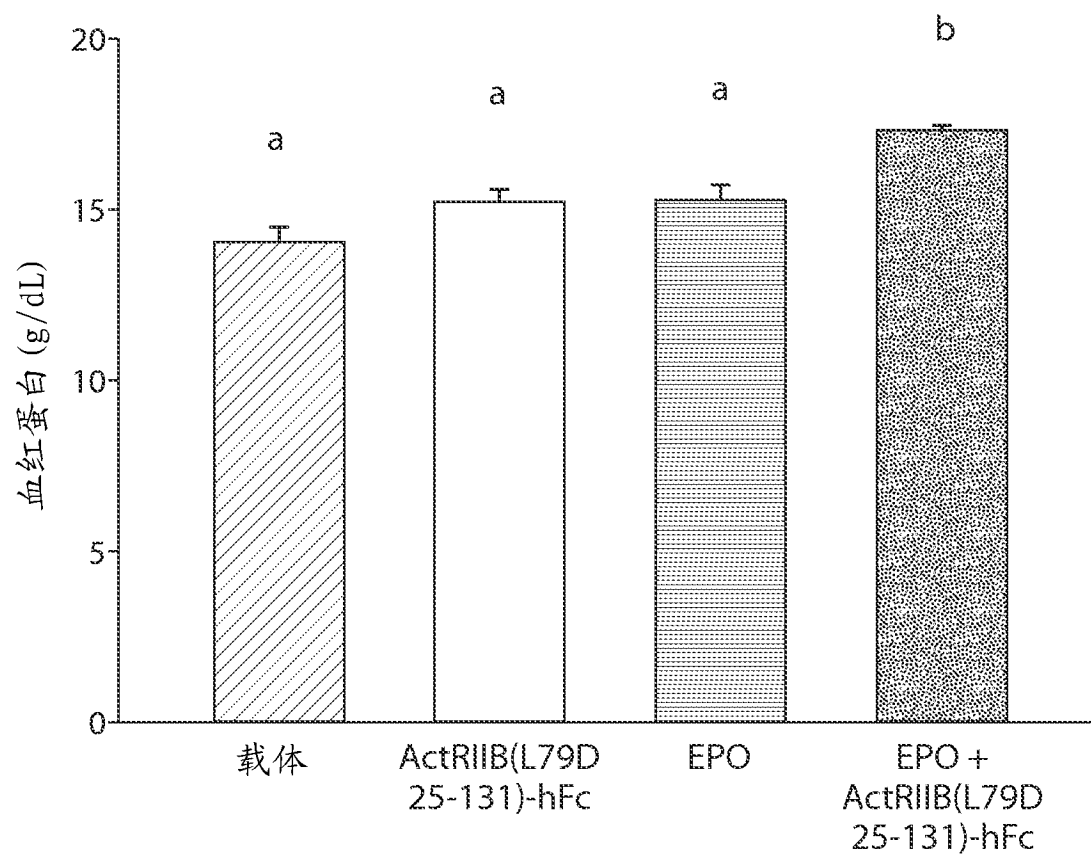


图 20

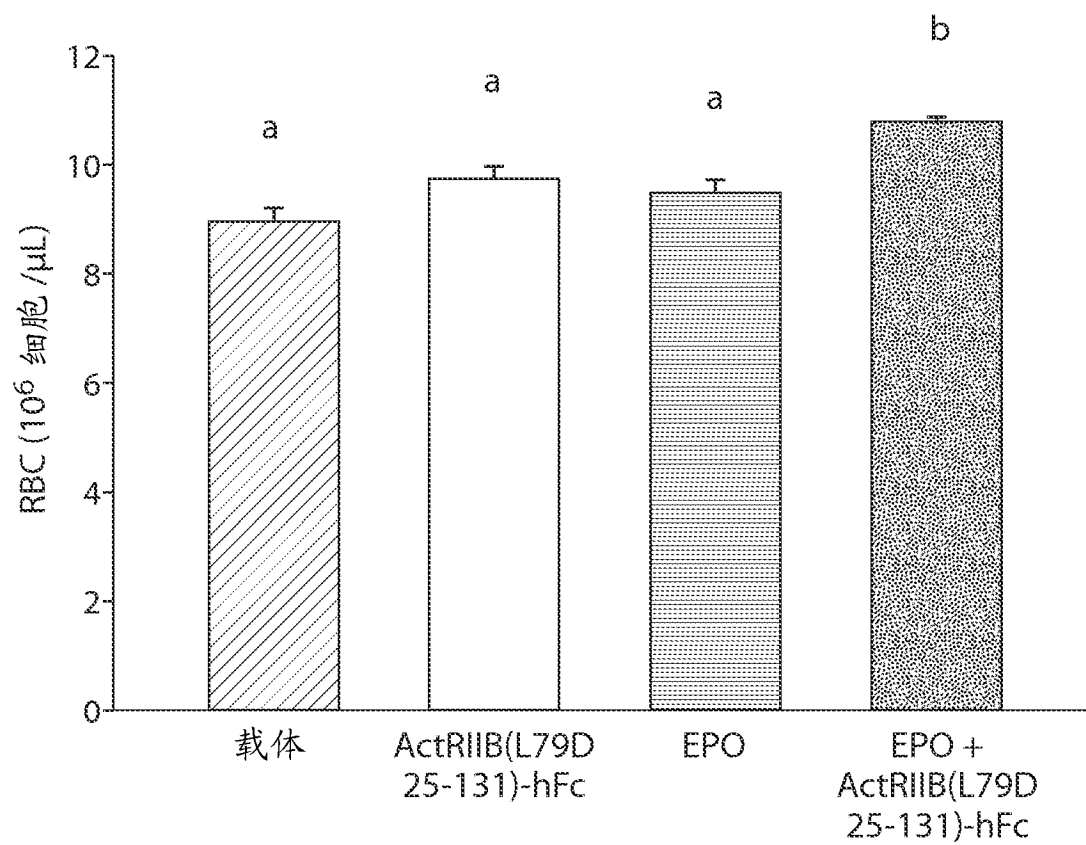


图 21

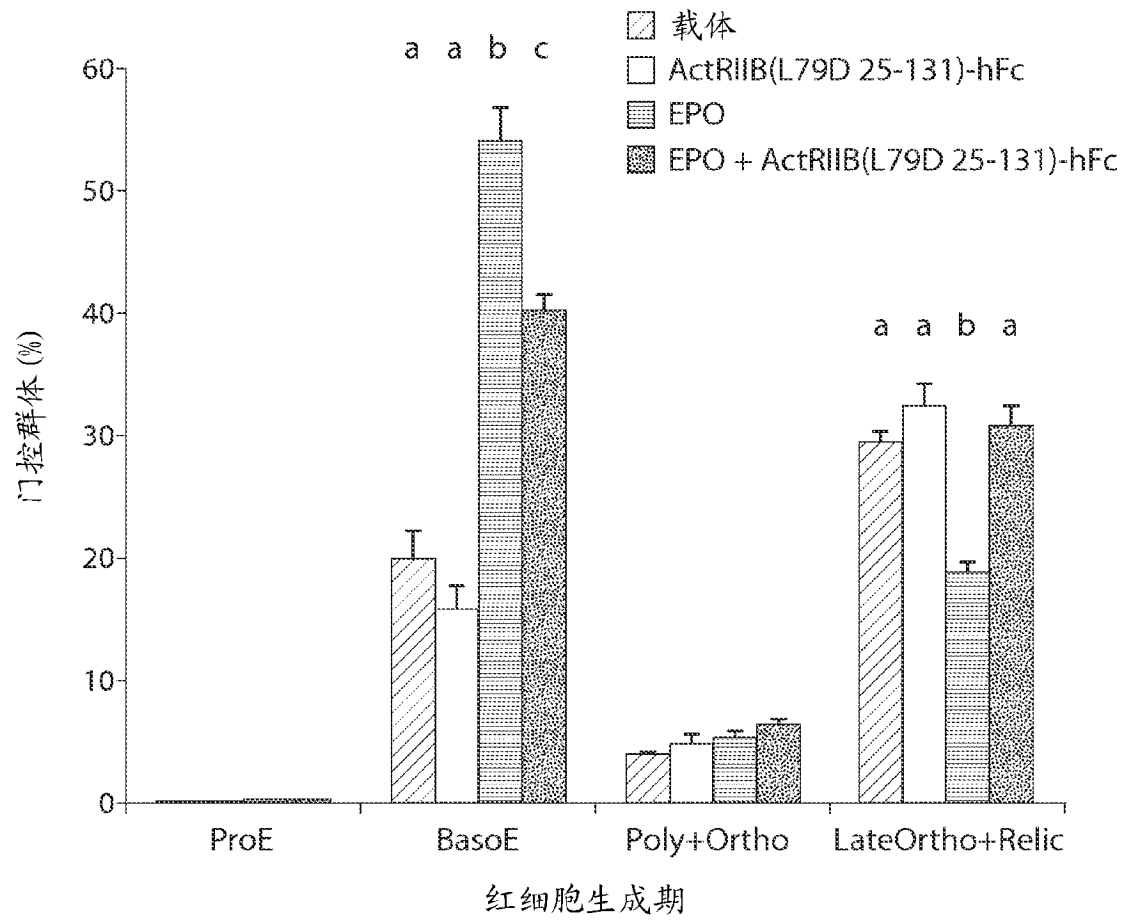


图 22

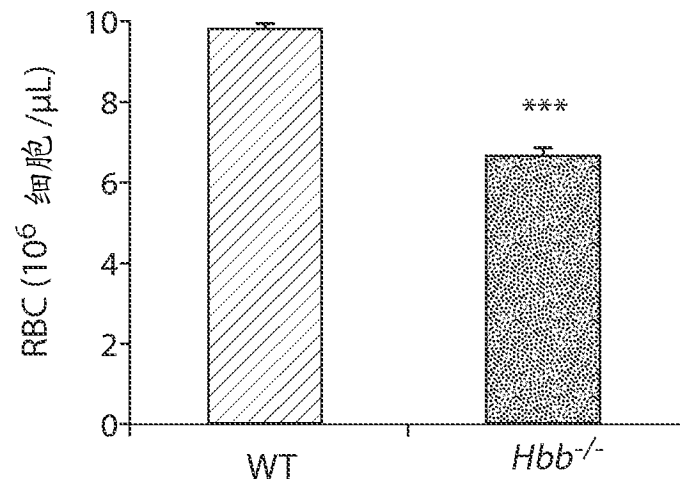


图 23A

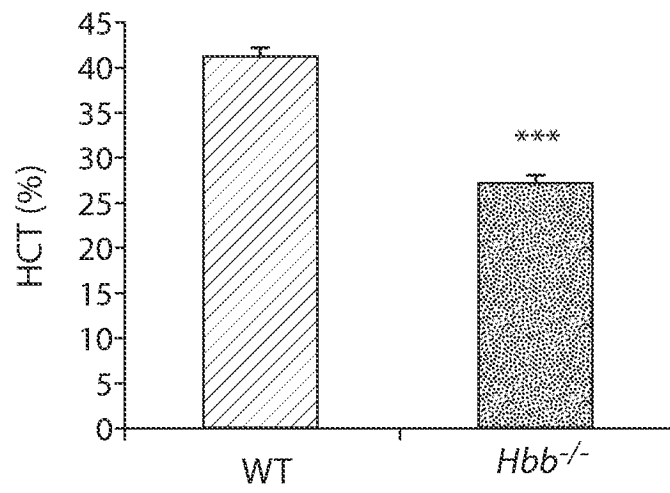


图 23B

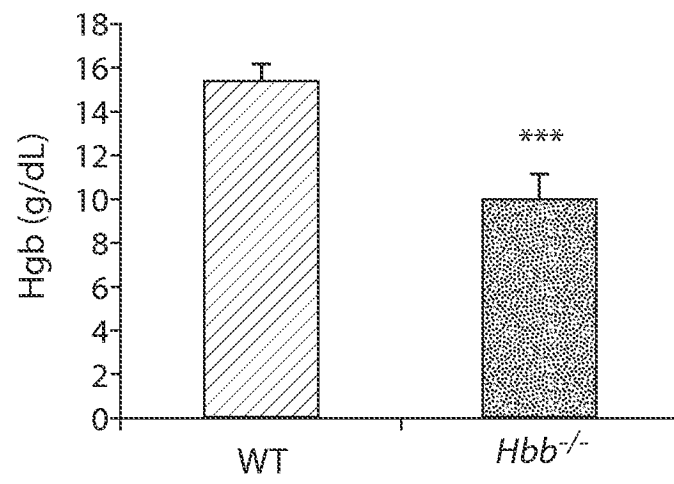


图 23C

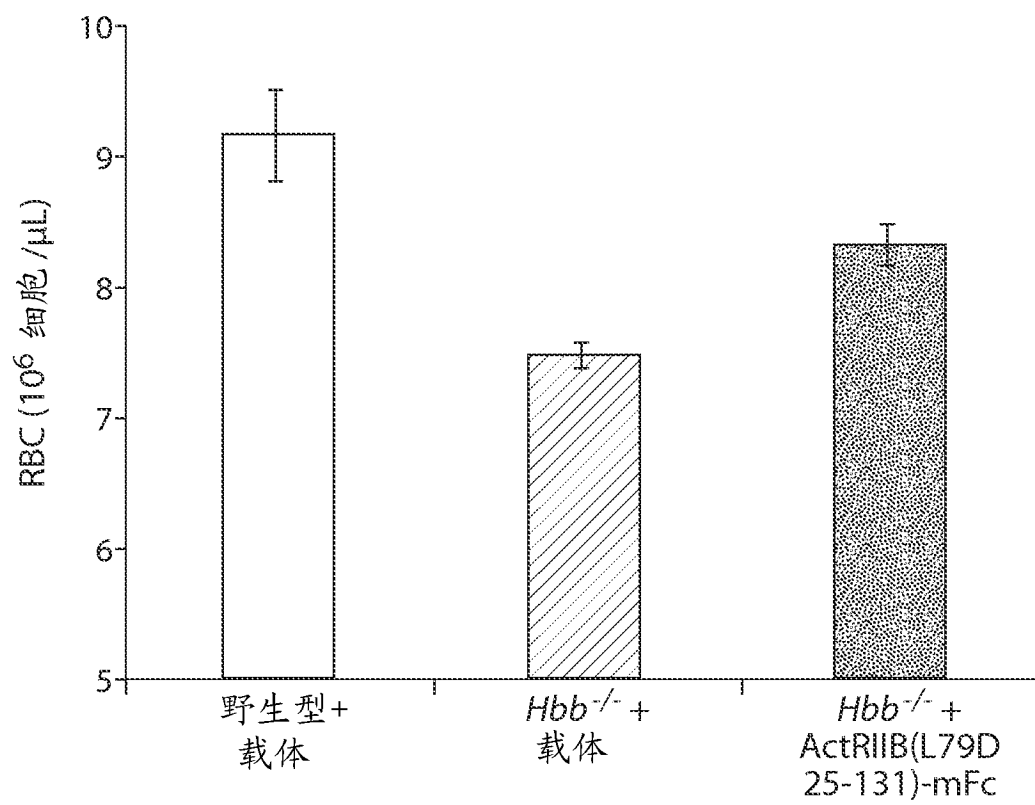
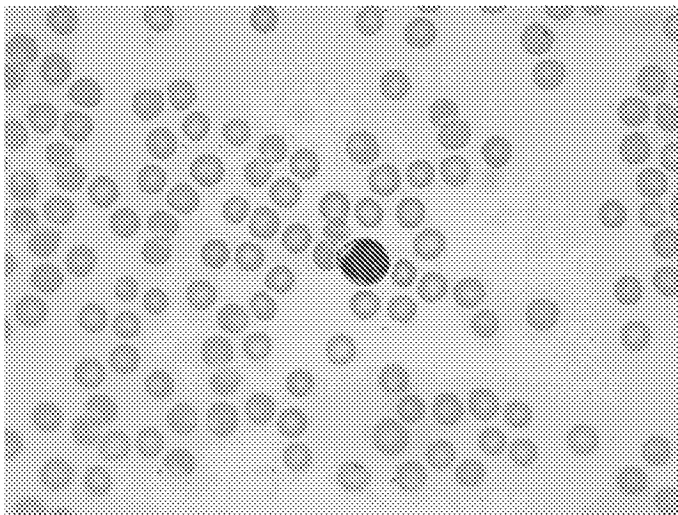
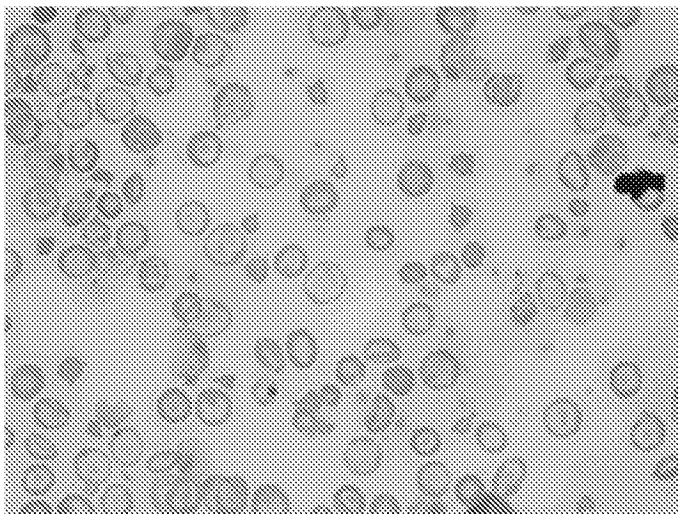


图 24

野生型+
载体



$Hbb^{-/-}$ +
载体



$Hbb^{-/-}$ +
ActRIIB(L79D
25-131)-mFc

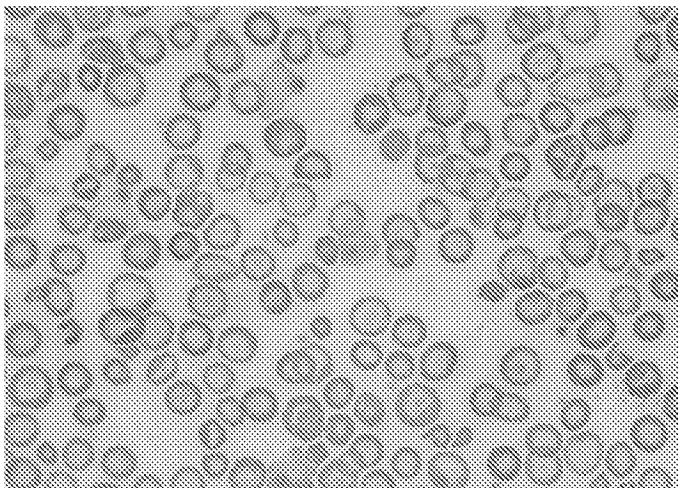


图 25

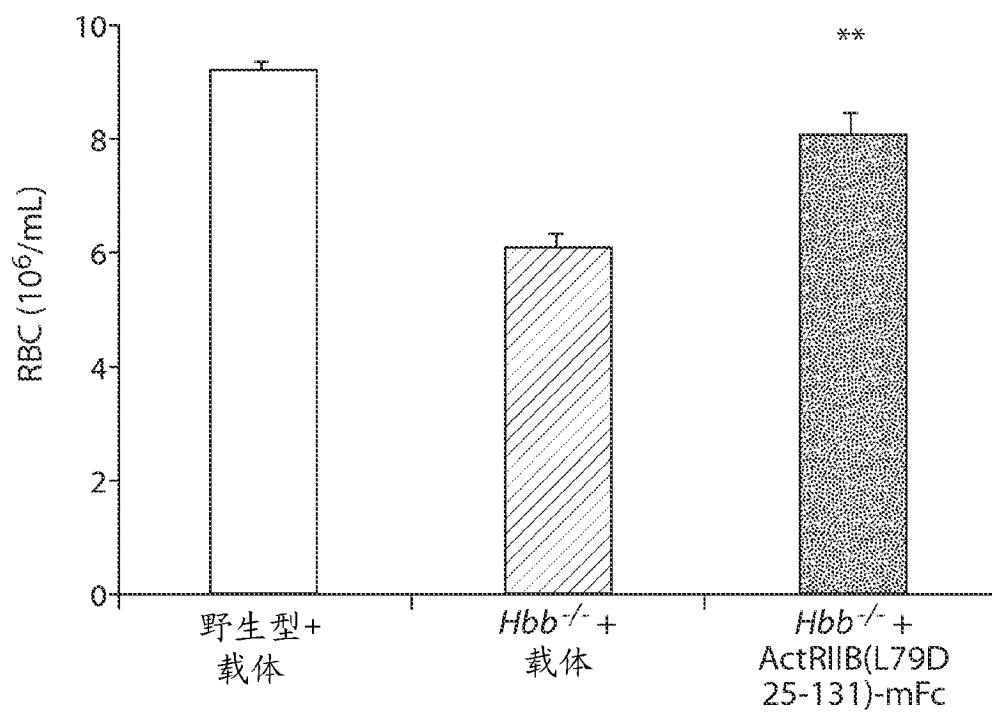


图 26

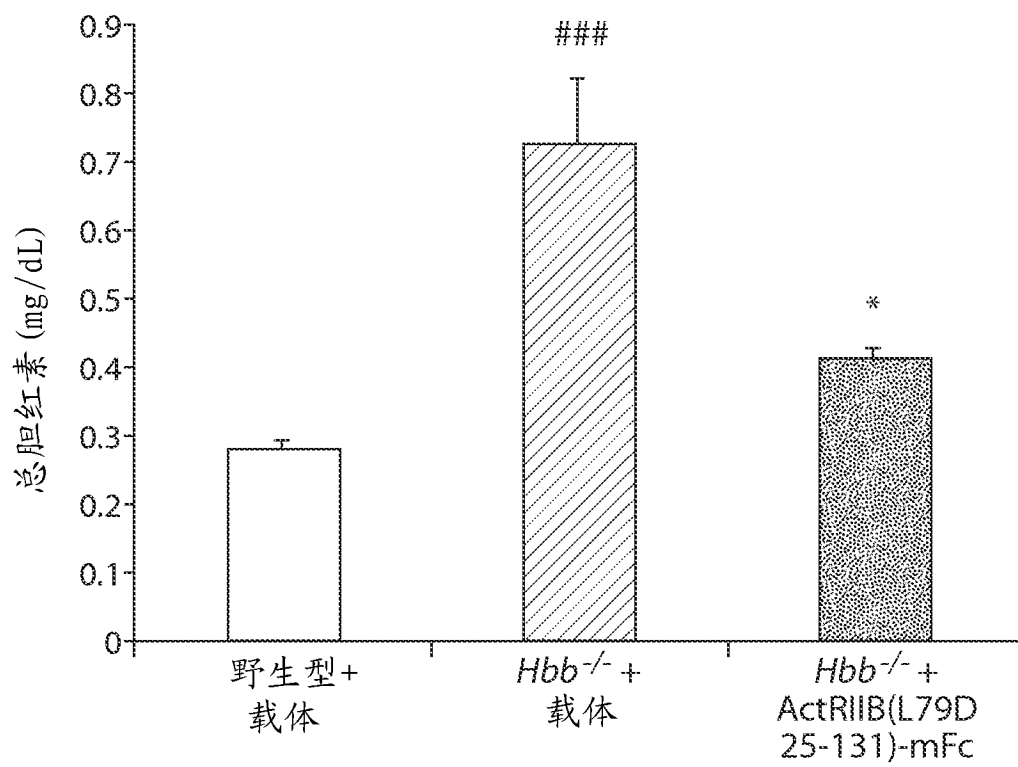


图 27

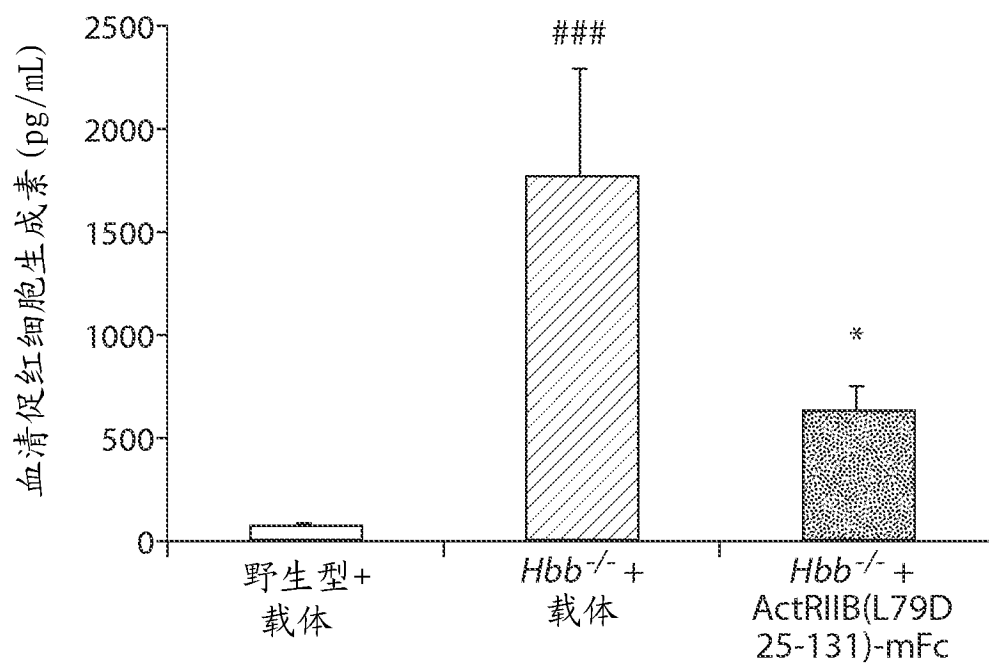


图 28

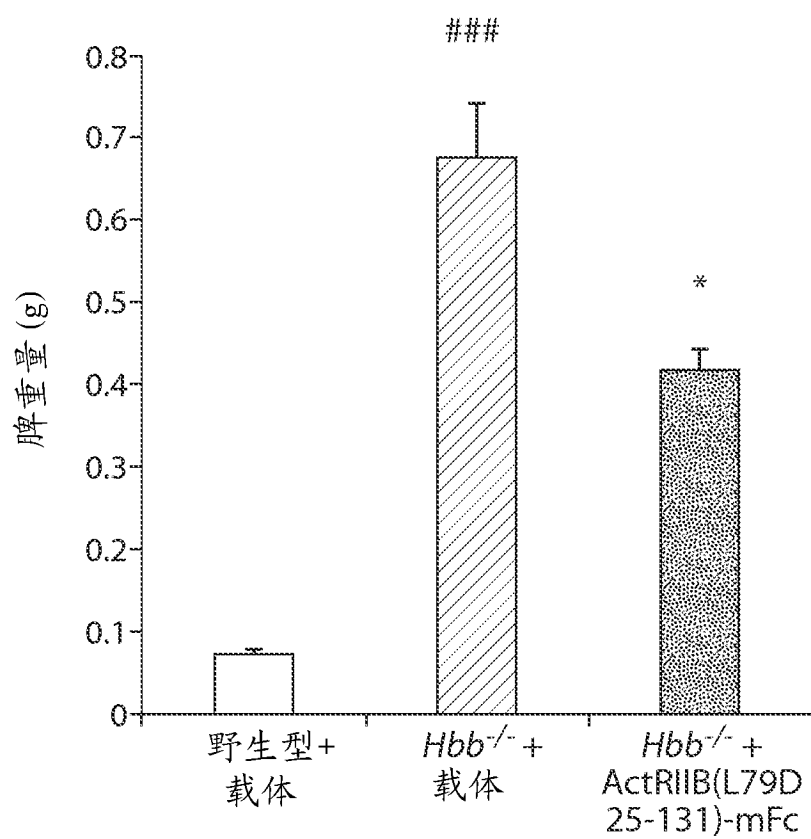


图 29A

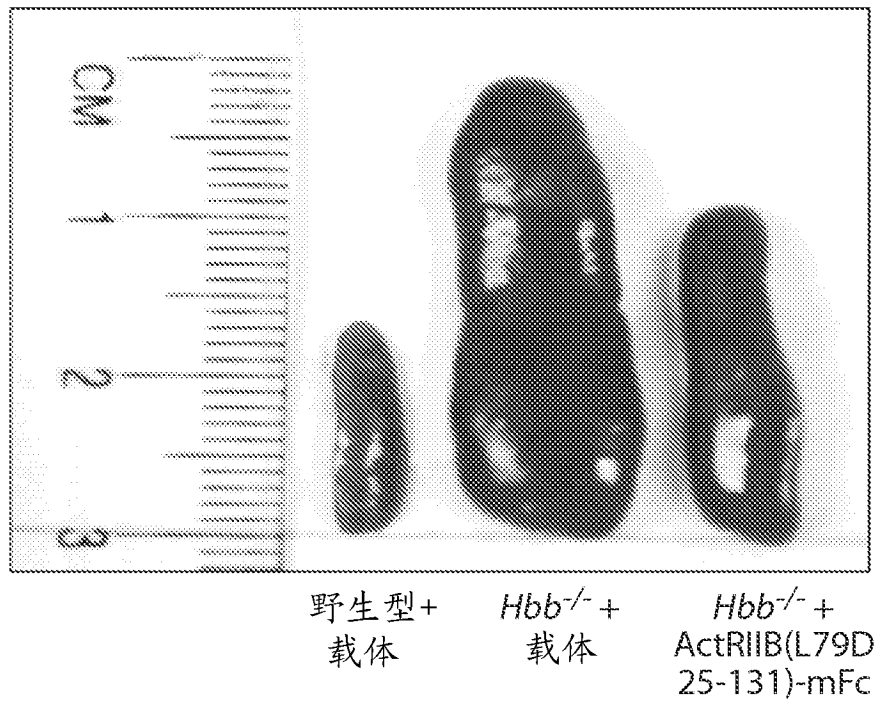


图 29B

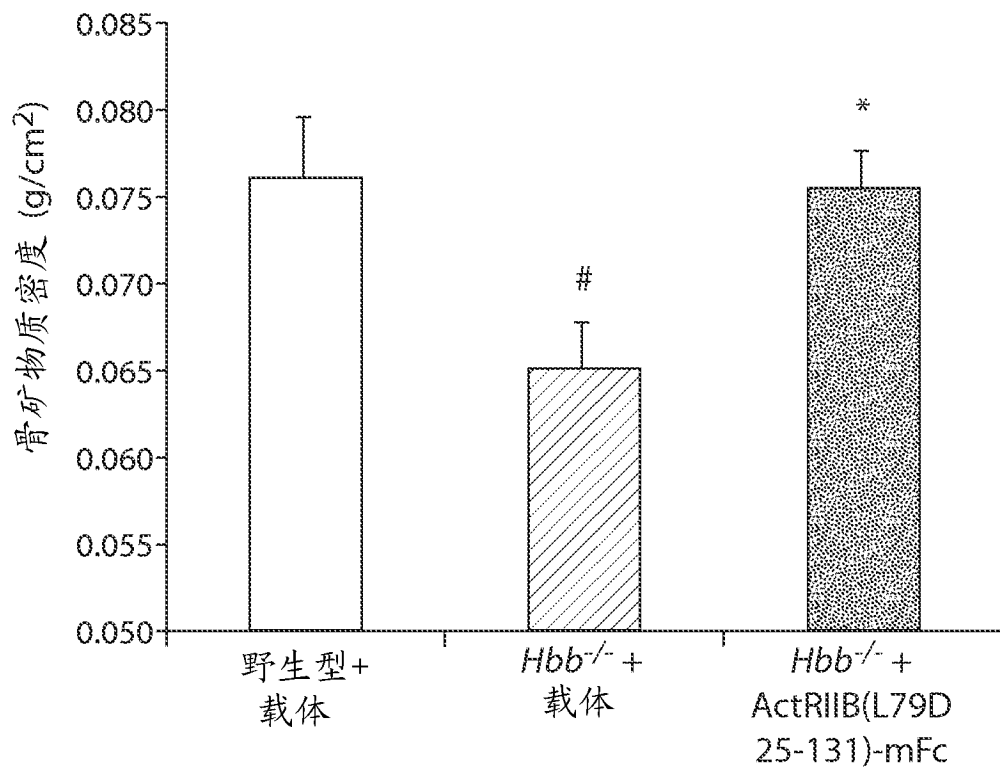


图 30

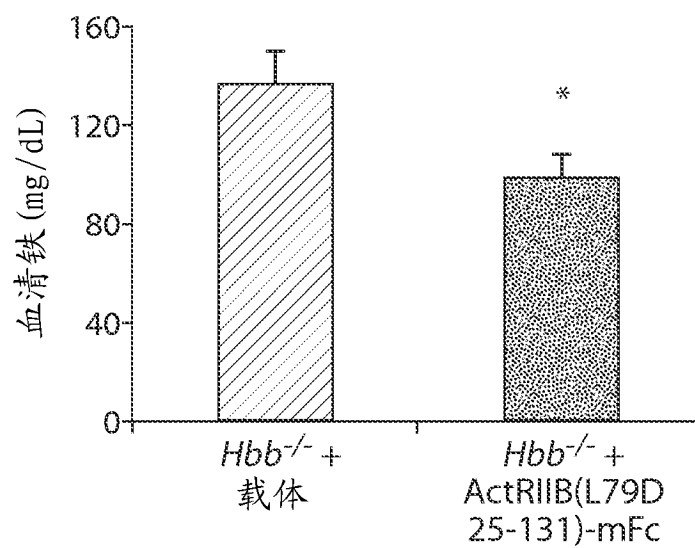


图 31A

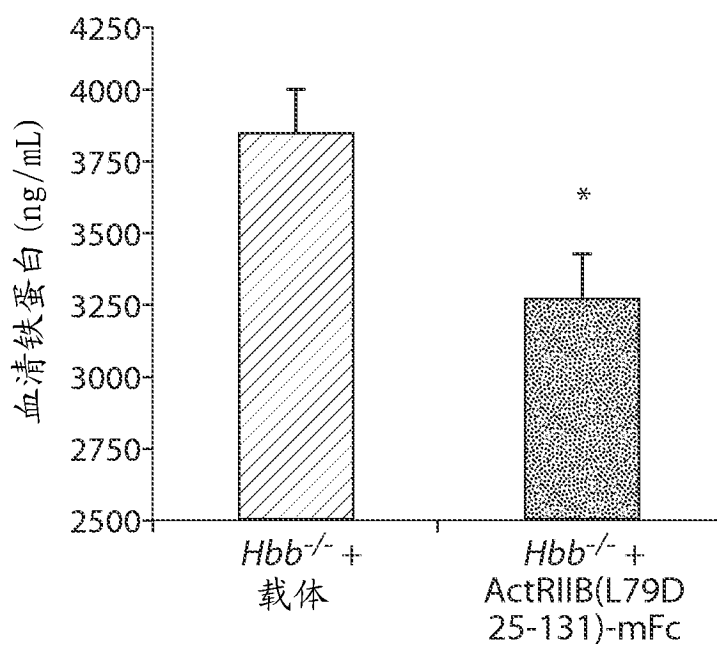


图 31B

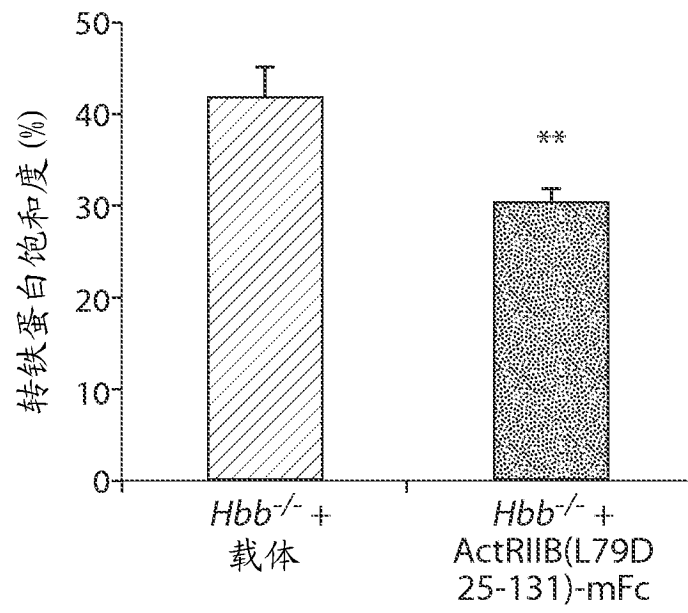


图 31C

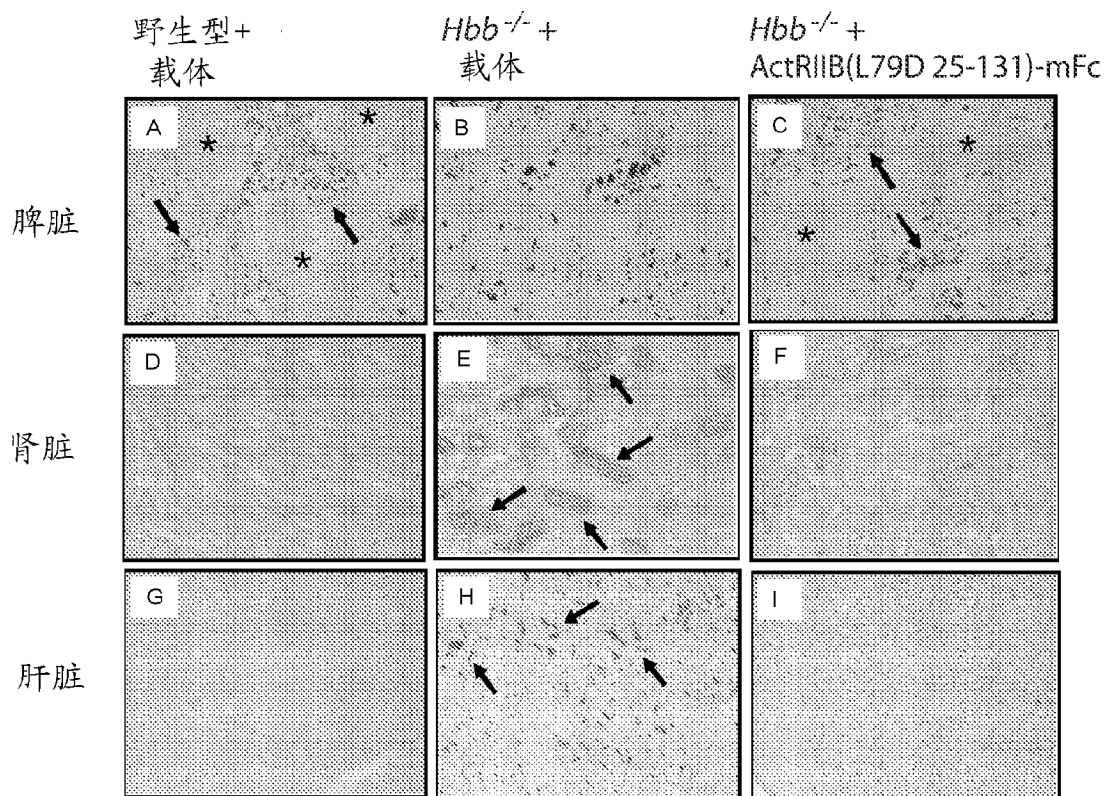


图 32

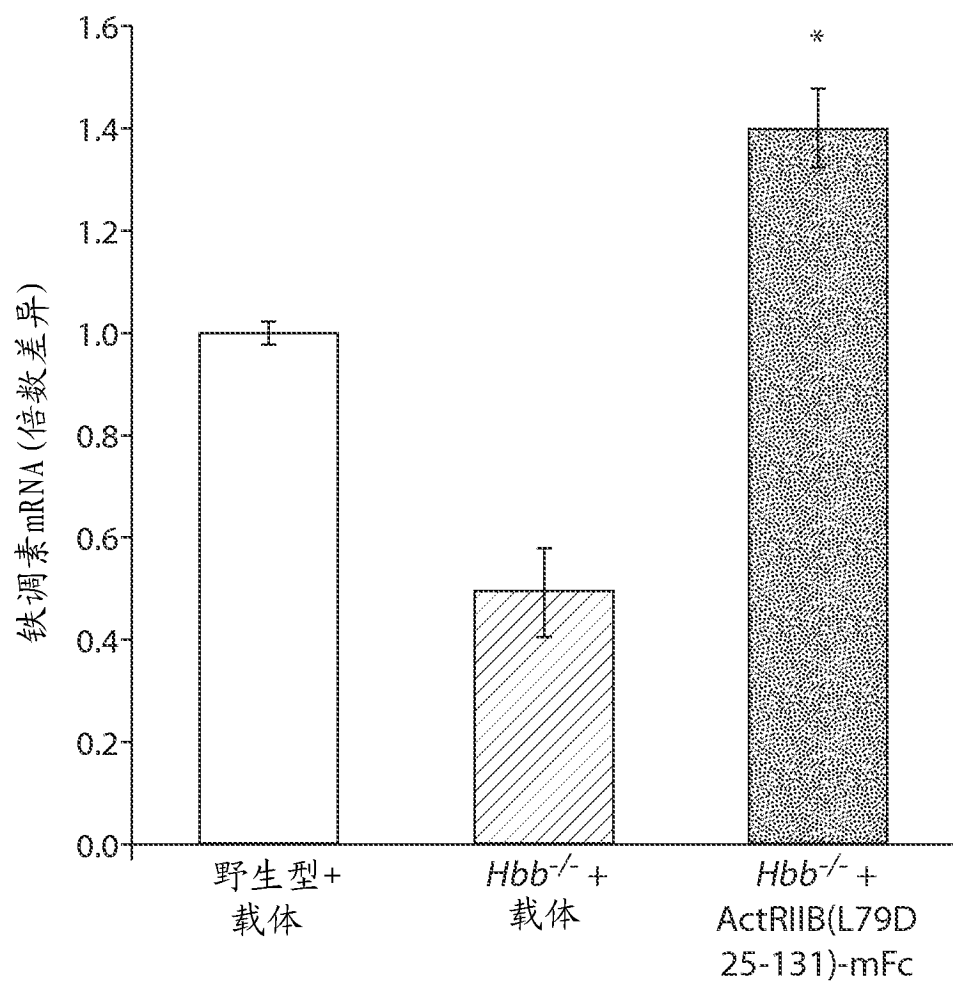


图 33

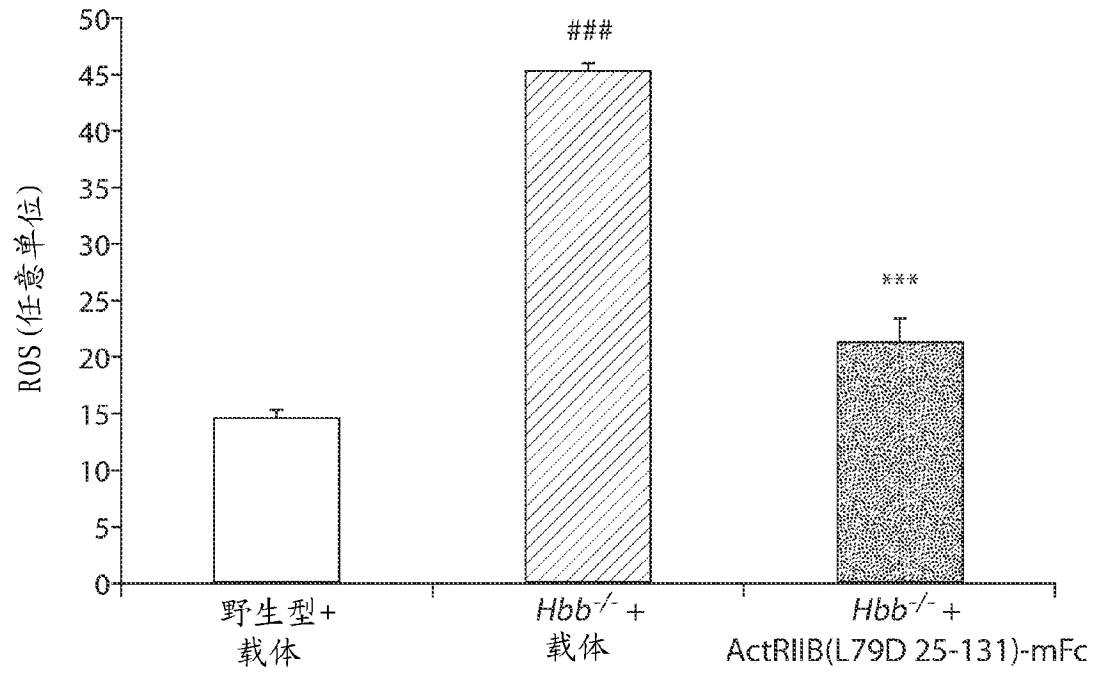


图 34