

高血压与高原关系的研究进展

刘从娜, 岳蔚吉, 吴新华*, 刘 宏

大理大学第一附属医院心血管内科, 云南 大理

收稿日期: 2025年8月23日; 录用日期: 2025年11月11日; 发布日期: 2025年11月21日

摘 要

高血压(high blood pressure, HBP/hypertension, HTN)是全球全因死亡率的最大危险因素, 是全球重大心血管疾病之一。HBP的发病是由遗传、种族、地理、饮食和环境等诸多因素长期相互作用的结果。其中, 特殊地理环境——海拔与血压的关系较为复杂, 高海拔地区的低氧、低压、低温、长日照及强辐射等独特的地理结构、复杂的气候变化使得高原人群的生理机能、代谢机制、遗传表型有别于低海拔地区, 而目前HBP与海拔的关系尚未完全阐明。本综述回顾不同海拔地区HBP国内外相关研究, 旨在进一步阐明HBP与海拔的关系及其可能的防治策略, 以期高原人群的HBP基础管控提供指导。

关键词

高血压, 高原, 机制, 防治

Research Progress on the Relationship between Hypertension and High Altitude

Congna Liu, Weiji Yue, Xinhua Wu*, Hong Liu

Department of Cardiovascular Medicine, The First Affiliated Hospital of Dali University, Dali Yunnan

Received: August 23, 2025; accepted: November 11, 2025; published: November 21, 2025

Abstract

Hypertension (HTN, or high blood pressure, HBP) is the greatest risk factor for all-cause mortality worldwide and is one of the major cardiovascular diseases globally. The onset of HBP is the result of the long-term interaction of many factors such as genetics, race, geography, diet and environment. Among them, the relationship between altitude and HBP is rather complex due to the special geographical environment. The unique geographical structure and complex climate changes in high-altitude areas, such as low oxygen, low pressure, low temperature, long daylight and strong radiation, make

*通讯作者。

文章引用: 刘从娜, 岳蔚吉, 吴新华, 刘宏. 高血压与高原关系的研究进展[J]. 亚洲心脑血管病例研究, 2025, 13(4): 39-50. DOI: 10.12677/acrvm.2025.134005

the physiological functions, metabolic mechanisms and genetic phenotypes of people living in high-altitude areas different from those in low-altitude areas. However, the relationship between HBP and altitude has not been fully clarified yet. This review summarizes the relevant studies on HBP in different altitude regions at home and abroad, aiming to further clarify the relationship between HBP and altitude and possible prevention and treatment strategies, in order to provide guidance for the basic control of HBP in people living in high-altitude areas.

Keywords

High Blood Pressure, High Altitude, Mechanism, Prevention and Treatment

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

HBP 是指由遗传、环境等因素导致的指体循环动脉血液对管壁压力持续增高,并可伴有心、脑、眼、肾等器官的功能或器质性损害的临床综合征。随着经济的发展,高原暴露越来越普遍,高原人群的健康关系着高原地区的长期稳定与可持续发展。高原地区幅员辽阔,气候寒冷干燥,兼具较低的大气压强、氧分压,较高的常年日照时间、太阳辐射,其独特的地理结构、复杂的气候变化使得无论是急进高原、移民还是原驻世居人群,在高原严峻的环境中与平原人群有所不同。据统计,每年超 1 亿人登上高山,约 1.4 亿人永久生活在 2500~5500 米的高原地区,每年移居高原的人数也超过 200 万,急进、移居或世居高海拔人群常因机体应激变化或习服、适应障碍使得机体血压调节异常,可能导致高原地区原发性高血压与高原高血压患病率增高[1]-[4]。据统计,我国心、脑血管疾病死亡人群中约分别有 45%、51%可归因于 HBP [5],HBP 的患病率还在逐年升高,我国 HBP 的平均知晓率为 51.6%,治疗率为 45.8%,而控制率仅达 16.8% [6]。高原作为人类居住、活动的重要场所,但教育水平和医疗条件相对薄弱,其 HBP 管控水平远达不到国家基层高血压防治管理的基本要求[7],并且目前鲜见高原地区 HBP 患者基本公共卫生服务管理现状及管理效果的研究[8]。本综述通过复习文献,对近年来有关这一领域的国内外相关研究进展进行综述,了解海拔与血压的关系,探索海拔与血压变化的影响机制,寻找可能的基础管控方式,以期更好地管控高海拔地区的 HBP,为高海拔活动人群提供健康保障。

2. 高原血压升高的影响机制

2.1. 血管收缩

外周血管持续收缩是高血压的重要发病机制,高原低温缺氧环境下各种缩血管物质的增多、舒血管物质的生成或释放减少是高原地区原发性高血压与高原高血压增多的主要原因之一。内皮素(endothelin, ET)作为一种强力血管收缩肽,其在高原环境中的升高与缺氧强相关,并且有研究提出 ET 是高山病及其严重程度的独立预测因子[9]。高原缺氧环境引起中枢神经调节功能异常,交感系统兴奋增强导致肾上腺髓质分泌增多,儿茶酚胺、皮质激素分泌增加均可作用于心血管的 α 、 β 受体收缩血管、增快心率、增加心输出量,升高血压[10]-[12],高原暴露的血压升高与交感系统的持续激活有关,但也可能与肾上腺素能受体密度的下调有关(可能与受体占有率增加相关)[13]。此外,缺氧状态全身血流重新分布,肾血流减少可以不同程度地激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统(renin-angiotensin-aldosterone system, RAAS),其

中血管紧张素 II (Ang-II) 作为较强的缩血管物质可直接收缩外周血管、升高血压; RAAS 系统激活的醛固酮的保钠排水作用使血容量增加, 研究表明, 较高的血清醛固酮浓度与 HBP 高风险相关[14]; Ang-II、醛固酮还介导心脏的收缩力调节、细胞耦合以及电冲动传播等机制, 参与心肌细胞凋亡、肥厚、重构; 并且诸多研究表明, 高原环境引起的血管紧张素转化酶 ACE 基因多态性与 HBP 易感性相关[15][16]; 然而亦有研究指出, RAAS 在急性高原暴露到适应暴露的过渡时期起着关键性作用, 但长期高海拔的环境生活, 会导致肾素的敏感性下降, RAAS 活性抑制, 从而减弱其在高原血压中的作用[17]。高原机体缺氧时, 形成了复杂的反应机制, 目前缺氧诱导因子-1 (hypoxia-inducible factor, HIF-1) 被作为公认的缺氧诱导因子, 在低氧浓度环境中 HIF-1 基因的表达显著增加, 进而激活其靶基因[18], 作为 HIF-1 的主要转录靶标之一, 血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor, VEGF) 是一种高度特异性的促血管内皮细胞生长的因子, 具有促进血管通透性增加、细胞外基质变性诱导炎症、血管内皮细胞迁移、增殖和血管形成等作用, 参与缺氧环境的血压升高[19][20]。同样, HIF-1 还参与内皮一氧化氮合酶的转录, 介导一氧化氮 (nitric oxide, NO) 生成[21], NO 参与调节血管张力、线粒体呼吸、骨骼肌收缩及信号传递等生理功能对维持机体血管、代谢、神经完整性至关重要[22], 而非适应或习服状态的高原人群 NO 生成减少, 血管舒张功能障碍, 进而影响血压。高原的寒冷环境亦能升高血压, 低温激发冷应激刺激交感兴奋的同时, 引起收缩皮肤血管、骨骼肌肉肌脉管系统, 从而引起血压升高[23]。

2.2. 血管内皮损伤、功能障碍

内皮细胞可合成并分泌多种血管活性物质, 收缩血管的 ET-1、Ang-II、血栓素 A₂ (TXA₂); 舒张血管内皮的前列环素 (PGI)、NO; 参与细胞黏附的血管细胞粘附分子-1、对血管具有强效通透性的 VEGF 等[24], 内皮细胞损伤时上述物质分泌异常, 介导血管收缩、血栓形成、炎症趋附、细胞生长等[25], 从多方面参与 HBP。血管内皮的慢性炎症是 HBP 的重要发病机制[26], 在高原环境中, 低温、炎症对血管内皮的损伤、重塑影响更为突出。目前所知的影响血管力学行为的主要物质是弹性蛋白、脂质蛋白纤维和平滑肌, 缺氧驱动高分泌的破坏性中性粒细胞表型, 增强炎症对血管内皮的损伤, 此外, 缺氧还增加中性粒细胞弹性蛋白酶的释放, 破坏血管弹性蛋白、增强组织损伤并使血管弹性及顺应性下降, 血压升高[27]。诸多研究表明, 原持续低压、缺氧使得氧气摄入减少、体内生物利用度降低, 机体保护机制启动线粒体膜的氧转运级联等变化引起自由基的产生、清除失衡会导致病态致氧化应激诱导并加重炎症反应, 并可导致蛋白质聚集变性、脂质过氧化、碳水化合物和核苷酸结构等细胞成分破坏, 直接损伤血管内皮[28][29]; 在炎症部位细胞趋化、氧耗增加, 加重氧化应激, 与炎症损害形成恶性循环[27]。内皮紧密连接与调节水、离子和分子通过细胞旁途径运输相关, 是血管的重要屏障并参与维持血管稳态[30], 缺氧通过激活内皮细胞中的核呼吸因子-1 上调 caveolin-1 蛋白转录, 从而诱导密蛋白-5 (密蛋白是完整的膜蛋白和紧密连接链的组成部分, 起物理屏障作用) 的内化和自噬降解, 使得血管内皮完整性和连续性破坏[31]。

2.3. 血液粘滞

根据泊肃叶定律, 总外周阻力和血液粘滞性成正比, 血液高粘滞性使得一定程度上血压升高、并在 HBP 病理生理变化及并发症发生发展中占有重要作用[32][33]。研究表明, 高原红细胞增多症是高原血压升高的独立危险因素[34]。缺氧环境使得 HIF 基因表达显著增加, 其与缺氧反应元件结合后能促进促红细胞生成素, 又称红细胞刺激因子 (Erythropoietin, EPO) 的生成[35], EPO 能显著刺激红细胞的增殖、存活, 促进造血[36]。适量红细胞增多能帮助机体增加血液携氧能力, 更好地适应缺氧环境, 而极端环境下过代偿超过红细胞压积的最适水平时, 引起血容量增加、血液黏滞度增高、血流阻力增加, 血液高凝、微循环障碍、组织缺氧, 并且如果没有及时的代偿调节, 粘滞的血液会加重缺氧并与慢性炎症、病态氧

化应激相互串扰、形成恶性循环[37],尹等人的研究表明,高原红细胞增多症与原驻超高海拔地区的成人 HBP 呈正相关[38]。此外,EPO 是一种多效性细胞因子,在非造血组织中发挥多种生物学效应,比如介导血管生长、重塑;EPO 还可导致 NO、ET 和卟啉类化合物以及 RAAS 通路调节紊乱、增强血管对 Ang-II 的反应性引起血管张力不平衡,从多方面介导血压升高,增加 HBP 风险[39]。稳定的循环需要一定水平的血液粘度,这种平衡多通过内皮释放的 NO 来维持[40],Sidekhmenova 等人通过对 Wistar 大鼠和自发性高血压大鼠血液稀释,发现高血压大鼠的血液粘稠度更高、用等体积的血浆稀释 10%后平均血压显著降低 18%,并且血液粘稠使得血管舒张反应性降低,可能与其会加速动脉血管硬化相关[41]。

2.4. 高原其他可能影响血压的机制

2.4.1. 高寒地区饮食与血压

高原低温湿寒,人们常通过饮酒、进食肉类、乳制品、腌制食品抵御严寒,长期高盐高脂高嘌呤饮食,可能导致血糖、血脂、尿酸水平异常,而高尿酸血症、高钠、低钾、高血糖、高血脂已被公认为是 HBP 的重要危险因素[6]。其中高糖、高脂饮食能增加胰岛素抵抗,增加氧化应激水平,加重血管内皮损伤,研究表明,胰岛素敏感性与血压水平独立相关,胰岛素值升高可预测血压正常人群随后的 HBP 发病率[42]。高盐饮食影响细胞膜钠-钾泵功能,增加钠、钙离子向胞内转移,增高胞内渗透压引起血管内膜细胞水肿、血管收缩管腔狭窄。此外,赵等人的研究表明,长期过量饮酒会使血压明显升高[43],并且 Biddinger 等人的孟德尔研究指出,遗传预测的饮酒量增加,HBP 风险增加[44],而一项大型的前瞻性研究对 12,497 名成人随访 5 年后调整其他危险因素发现,男性饮酒者发生 HBP 的风险是非饮酒者的 1.236 倍,女性是 1.409 倍[45]。低氧、乙醇消耗大量的 NADPH,产生大量的活性氧破坏细胞膜和线粒体,并抑制舒血管物质如 NO 的合成;同时酒精的神经作用兴奋交感神经,使血管平滑肌细胞内钙离子增加增强血管收缩、升高血压[46]。

2.4.2. 高原肠道菌群改变与血压

肠道菌群(gut microbiota, GM)是人体最大的生态系统,与人类健康密切相关,在高原低温、低压、缺氧极端环境中,机体 GM 发生变化导致疾病产生或帮助机体适应高原。诸多研究表明,GM 丰富度、多样性降低及潜在致病菌的增多与 HBP 患病风险的增加有关[47][48]。厌氧菌在 GM 中占主导地位,缺氧使宿主肠道中的厌氧菌变得更具竞争力并过度生长,及缺氧情况下过度氧化应激的破坏引起 GM 丰富度下降;在寒冷环境中,厚壁菌门增加,拟杆菌丰度降低,疣微菌几乎消失;而过度紫外线照射可能引起变形菌增加,拟杆菌门减少[49],朱的研究发现,拟杆菌门代谢产物可以通过抑制免疫、炎症反应、调节能量代谢平衡对青海地区的血压产生有利的保护作用影响[50],而放线菌门、变形菌门及厚壁菌门代谢产生的氧化三甲胺与血压存在正剂量相关性[51]。GM 在肠道中的主要代谢产物是短链脂肪酸(如乙酸盐、丙酸盐和丁酸盐等),短链脂肪酸可以通过肠上皮吸收入血,与 G 蛋白偶联受体参与血压调节[52],例如部分脂肪酸的激活可引起肾球旁器颗粒肾素分泌增加,刺激 RAAS 系统升高血压[53],而 Verhaar 等人的研究提出,脂肪酸亦可能通过刺激肾动脉中存在的短链脂肪酸受体 GPR43 和 GPR109a 舒张血管参与降压[54]。不同海拔人群因其饮食生活习惯、海拔适应程度等差异,GM 的分布特点及对血压的调控机制尚未完全阐明,仍需不断探索。

3. 血压与高原的关系

海拔作为特殊地理环境与血压的关系较为复杂,有研究表明,海拔本身是决定高原 HBP 患病率的一个独立因素[55]。目前研究主流观点仍是高原的低温、低压、缺氧、病态氧化应激、炎症损伤、交感兴奋等网络式串扰作用引起血管收缩、内皮功能障碍、过度灌注、血液粘滞形成恶性循环高原人群血压升高、HBP 患病率增高,但急进、移居、原驻高原人群的血压变化不同。此外,有研究调查显示,青藏高原移居者高血压患病率 > 高原藏族患病率 > 平原人群,彭等人通过对世界各地藏人的血压情况荟萃分析发

现藏族成人 HBP 患病率从 8.4%到 64.6%不等[56]，但国内外关于海拔与 HBP 发病情况的研究亦尚无统一论，尤其在跨高原海拔地区(1000~3500 米)[57]。近年来，不少研究表明，海拔可能是血压的保护因素[58]-[60]，尤其是久居或世居高原的人群，Song 等人通过对西藏 2700~4505 米处居住时间 ≥1 年的人群 HBP 患病率研究发现，在调整年龄和性别后，HBP 患病率随海拔的升高而降低(跨高原海拔、高海拔、超高海拔地区的 HBP 患病率分别为 40.6%、32.5%和 20.4%) [61]。然而，RAAS 系统在高原血压如何作用、海拔为 HBP 的危险还是保护因素仍无统一论，这与所研究人群的遗传背景差异、高原暴露时间长短、所处海拔高度、研究方法差异等因素密切相关，我们对国内外近年来相关研究进行海拔、暴露时长、人群等重要因素分组进一步探讨海拔与血压的关系。

3.1. 急进高原的血压变化

急进高原氧分压急剧下降交感兴奋性明显增强，引起循环系统的“低氧性增压反应”的应激代偿反应适应高原环境。朱等人通过对来自同一平原地区(<500 米)的 1500 例健康青年男性进入 4500 米高原前后的血压变化对比发现急进高原后无论有无高原疾病，收缩压(systolic blood pressure, SBP)、舒张压(diastolic blood pressure, DBP)均升高($P < 0.05$)，并且高原病组血压高于健康组($P < 0.05$) [62]，时等人对 100 例健康青年男性进入跨高原海拔 2780 米后，测量 24 小时动态血压得到了相同的结果[63]。在神经交感系统的影响下，正常人群血压呈昼高、夜低的勺型血压模式，非勺型血压人群有更高的不良心脑血管事件发生率[64]，而急性高原暴露常引起血压非勺形改变。Chen 等人对健康人群测量血压后按白昼血压变化情况分为勺形、非勺形组，在急性 4100 米高原暴露后检测血压发现两组人群均出现血压、心率明显升高，左室收缩功能增强，而舒张功能明显下降；勺型血压组血压升高主要发生在夜间，而非勺型组主要发生在日间，非勺形组在高原暴露后左心代偿能力更差；女性高原暴露后血压晨峰明显高于男性，也许与女性高原头疼发病率较高相关[65]。杨等人通过观察研究首次急进不同海拔高度的 228 名男军人的血压，验证了急进高原 SBP、DBP 均升高、血压随着海拔高度的增高而增高($P < 0.05$)，并且持续观察各海拔组进入高原后第 7 天、30 天 SBP、DBP 均无差异($P > 0.05$) [66]。时、Torlasco 等人的研究验证急进跨高原海拔地区后昼夜的 SBP、DBP 亦随之升高[63] [67]。急进高原缺氧暴露后血压升高的结论几乎是一致的(急进高原缺氧暴露血压变化详见表 1)，然而不少研究提出高原居住数天或数月后血压水平逐渐下降，可能与高原习服相关[68] [69]。

Table 1. Summary of rapid elevation blood pressure changes
表 1. 急进高原血压变化汇总

海拔 (米)	组别	总数 (例)	年龄(岁)	人数(例)		SBP (mmHg)		DBP (mmHg)		P
				男	女	高原前	高原后	高原前	高原后	
4500	对照组	600	22.59 ± 2.65	600	0	110.12 ± 20.23	121.36 ± 10.56	71.11 ± 3.14	76.36 ± 5.36	0.001
	高原病组	900	23.56 ± 2.98	900	0	111.06 ± 20.20	111.06 ± 20.20	71.10 ± 3.23	85.32 ± 5.12	0.001
4100	勺形血压组	36	26.94 ± 9.20	24	12	119.24 ± 6.08	124.96 ± 7.89	69.60 ± 4.01	75.28 ± 5.39	0.000
	非勺形血压组	36	27.03 ± 6.40	21	15	118.82 ± 10.76	126.79 ± 10.23	70.65 ± 8.00	76.46 ± 5.78	0.000
2780	自身前后对照	100	27.12 ± 3.06	100	0	114.16 ± 7.52	119.91 ± 9.09	69.19 ± 6.75	75.01 ± 7.45	0.000
3000~ 6000	3000~4000 m	86	25.1 ± 6.9	86	0	98.70 ± 11.90	108.10 ± 12.36	67.00 ± 8.80	71.10 ± 7.90	<0.05
	4001~5000 m	76	25.7 ± 7.1	76	0	99.60 ± 12.00	115.40 ± 13.70	66.8 ± 10.80	77.70 ± 9.90	<0.05
	5001~6000 m	66	26.2 ± 6.3	66	0	99.90 ± 13.00	121.90 ± 12.60	66.90 ± 9.10	82.90 ± 13.30	<0.05
2035	白天	44	18~67	44	0	125.6 ± 10.9	130.6 ± 12.3	78.8 ± 6.7	81.8 ± 7.7	<0.005
	夜间	44	18~67	44	0	102.4 ± 12.4	107.4 ± 12.7	62.0 ± 8.2	65.8 ± 8.2	<0.003

3.2. 高原移民的高血压特点

高原 HBP 是指血压正常的人群从平原移居至 3000 m 以上高原后, 血压增高 $\geq 160/95$ mmHg (任一项及以上增高) [70], 但目前对于高原移民人群的血压尚无统一论。赵等人通过比较移居至 2800 米、4200 米、4700 米、5100 米海拔, 并且居住时间超过 2 年的人群血压, 发现随着海拔高度的升高血压异常率也升高[71]。Siqués 等人通过对 364 名无高原暴露史的男性军人暴露于 3550 米海拔处 12 个月对比平原 50 例对照组发现, 12 月来高原暴露士兵的血压始终高于平原组, 随着时间的推延, DBP 逐渐下降, 而高 SBP 持续时间更长, 这一结论与很多研究相似, 考虑与高原缺氧暴露后体内氧分压降低、血细胞比容增高、血液粘稠度增加相关[72]。Yan 等人通过研究 35 个移居至 5380 米海拔处的前 10 天、第 20 天、30 天、180 天及 360 天时的血压情况发现, 急进高原 1~3 天血压逐渐升高达高峰, 后逐渐下降, 第 180 天时 SBP、DBP 均显著下降, 甚至低于海平面对照组($P < 0.05$), 第 360 天时结果一致; 在该研究 360 天的跟踪中, 患者的血氧饱和度始终低于海平面组, 这与低压、低氧环境相关, 而血压急性期的升高、亚急性期持平、慢性期的降低甚至低于海平面组的变化情况, 考虑与高原极端环境中机体代偿从最开始的以交感神经为主的状态转变为以副交感神经为主相关[73]。移居高原的人群, 在高海拔低氧环境中, 生活、居住数周到数年过程中表现出的可逆非遗传性器官功能与结构变化的代偿性适应过程称为习服(包括跨海拔的获得性习服及世居高原的自然习服) [74], 近年来不少研究表明, 海拔可能是血压、血管的保护因素。魏等人通过对青藏高原世居人群及更高海拔移居人群的血压及血管特点研究发现, 海拔 4100 米地区移民藏族人群的血压低于中低海拔 1800 米地区, 并具有血管年龄偏低、动脉硬化发展程度轻的特征[75]。周等人通过对常驻拉萨的低海拔男性青年按移居时长分组研究发现, 移居至 3658 米海拔超过半年的男青年, 较平原地区男青年的体循环动脉血压发生显著改变, 表现为 SBP、DBP 及平均脉压显著下降, 考虑健康青年男性在数年的高原暴露过程中产生了习服[76] (高原移居血压者变化情况详见表 2)。

Table 2. Summary of blood pressure changes during migration to high altitude

表 2. 移居高原血压变化汇总

人群	组别	总数(例)	年龄(岁)	收缩压(mmHg)	舒张压(mmHg)
汉族	平原组(男)	1679	18.5	114.75 $\pm$ 11.25	73.8 $\pm$ 7.35
	移居 3658 m ≤ 0.5 年(男)	666	22.4	107.70 $\pm$ 12.38*	69.83 $\pm$ 7.35*
	移居 3658 m 3 年(男)	357	22.4	105.75 $\pm$ 10.95*	69.83 $\pm$ 8.18*
	移居 3658 m ≥ 10 年(男)	215	22.4	107.70 $\pm$ 10.65*	71.85 $\pm$ 7.8*
藏族	1800 m 原驻(男)	52	43.2 $\pm$ 15.1	122.6 $\pm$ 18.8	73.7 $\pm$ 13.9
	4000 m 移民(男)	64	40.4 $\pm$ 15.7	117.2 $\pm$ 13.3	73.8 $\pm$ 8.9
	1800 m 原驻(女)	78	42.5 $\pm$ 16.8**	119.6 $\pm$ 20.7	69.9 $\pm$ 14.0
	4000 m 移民(女)	67	49.4 $\pm$ 19.9**	118.82 $\pm$ 10.76	71.9 $\pm$ 11.2
/	2800 m 原驻	159	39.8 $\pm$ 13.6	108 $\pm$ 10.25	65 $\pm$ 4.21
	移居 4200 m ≥ 2 年	188	39.8 $\pm$ 13.6	118 $\pm$ 14.89*	70 $\pm$ 6.25*
	移居 4700 m ≥ 2 年	176	39.8 $\pm$ 13.6	124 $\pm$ 15.56*	77 $\pm$ 8.35*
	移居 5100 m ≥ 2 年	186	39.8 $\pm$ 13.6	128 $\pm$ 16.88*	86 $\pm$ 9.25*
智利人	海平面对照组(男)	50	17.8 $\pm$ 0.6	109.0 $\pm$ 1.5	66.2 $\pm$ 1.2
	移居 3550 m 1 年(男)	346	17.9 $\pm$ 0.1	118.9 $\pm$ 1.7***	81.9 $\pm$ 0.3***

续表

汉族	平原对照(男)	35	19.7 ± 1.4	119.51 ± 6.79	74.74 ± 5.47
	移居 5330 m 3 天(男)	35	19.7 ± 1.4	132.31 ± 9.77***	87.69 ± 7.66***
	移居 5330 m 10 天(男)	35	19.7 ± 1.4	123.89 ± 7.85	80.74 ± 6.01***
	移居 5330 m 180 天(男)	35	19.7 ± 1.4	104.86 ± 6.74***	69.09 ± 4.95**
	移居 5330 m 360 天(男)	35	19.7 ± 1.4	104.00 ± 8.68***	68.00 ± 5.27***

注：移居组与平原或原驻组对比：**P* < 0.05，***P* < 0.01，****P* < 0.001。/：未指定人群。

3.3. 世居原驻民的高血压特点

长期居住进化产生基因突变，使细胞、组织器官功能结构改造重建以适应环境，并可以遗传给后代称为高原适应，久居或世居高原人群在长期慢性缺氧环境中形成许多重要的适应性性状，以保证机体在严峻环境中生存[74]。吕等人通过对久居跨高原、高原 50 岁以上人群的血压情况调查发现，血压与海拔呈正相关，并且跨高原海拔(2100 米)HBP 发病率为 15.2%，高原(3200 米)为 35.7%，均低于 2018 年中国高血压调查公布的全国同年龄段人群 HBP 患病率(44.3%) [77]。梁通过对世居西藏不同海拔的人群健康调查示，4000 m 海拔 HBP 的患病率为 15.35% (其中男性 20.1%，女性 12.01%)，4500 m 处 HBP 的患病率为 23.18% (其中男性 25.49%，女性 20.89%)，海拔与血压水平及 HBP 患病率正相关(*P* < 0.05)，并且发现年龄与肥胖是 HBP 的危险因素(*P* < 0.05)；女性 HBP 患病率在不同海拔均低于男性(*P* < 0.05)，这可能与女性生活饮食习惯优于男性及雌激素对女性心血管系统的保护作用相关[78]。Yue 等人对不同海拔的原发性高血压调查发现，高原久居人群的 HBP 患病率(36.3%)高于低地人群(19.6%)，并且其原发性 HBP 患病率(20.8%)也高于低地人群(8.4%)，并且提出男性及高龄人群的原发性 HBP 发病率更高[79]。Wander 等人对世居海拔约 2600 米跨高原的摩梭族(藏族近亲)人群血压情况发现，摩梭族 HBP 发生率显著低于低海拔汉族人群(*P* < 0.01)，考虑其低的 HBP 患病率与高原适应介导的更强的血管舒张能力、更为丰富的毛细血管网络减轻了高原缺氧的 HBP 效应及提高了氧气输送到组织的能力[80]。综上，世居原驻民 HBP 发病率高于低地人群，但低于全国平均水平；移居人群的 HBP 发病率高于原驻民，这可能与原驻民比移居人群产生更稳定的适应相关，Vashishtha 等人的研究也证实了这一点[81] (久居、世居高原人群血压变化情况详见表 3)。

Table 3. Summary of high-altitude blood pressure and incidence of HBP among long-term and native residents of high altitude
表 3. 久居、世居高原血压水平及 HBP 发病率汇总

海拔 (m)	组别	总数 (例)	年龄(岁)	性别		HBP 患病率(%)			收缩压 (mmHg)	舒张压 (mmHg)
				男	女	男	女	总		
/	2018 年中国高血压调查	179,873	≥18 岁	/	/	/	/	27.5	/	/
2100~ 3200	2100 m 久居跨高原组	122	59.3 ± 7.4	34	88	/	/	15.2	122.8 ± 17.1*	/
	3200 m 久居高原组					/	/	35.7	136.0 ± 18.6*	/
4000~ 4500	4000 m 世居高原组	482	46.27 ± 14.26	199	283	20.1*	12.0*	12.06	119.11 ± 20.17*	73.22 ± 14.66*
	4500 m 世居高原组	716	44.12 ± 13.71	357	359	25.49*	20.89*	23.19	126.50 ± 18.68*	78.82 ± 11.89*
0~ 2000+	<1000 m 久居低海拔组	1000	42.0 ± 9.3	520	480	/	/	8.4 (EH)	/	/
	>2000 m 久居跨海拔组	1000	46.0 ± 15.5	562	438	/	/	20.8 (EH)	/	/
4700	4700 m 原驻藏族	387	32.6 ± 6.3	260	127	34.2	12.6	23.4	/	/

注：组间对比：**P* < 0.05，***P* < 0.01，****P* < 0.001；EH：原发性高血压(essential hypertension)；久居：居住 ≥ 5 年。

4. 高原高血压防治

4.1. 急进高原血压防治

综上,在目前的相关研究中,急进高原时刻几乎全员血压升高,这是身体为适应环境急剧变化的代偿调节,但也导致高原高血压患病率增高,因此针对急进高原的预防工作显得尤为重要,急性高原病的预防基于各种非药物和药物方法的结合。由于过快过高的上升海拔仍然是高的急性 HBP 患病率的主要危险因素,因此渐进性上升至目标海拔仍然是预防高原病的最佳方法,有研究显示,上升海拔 >2500 米时,应在条件允许的情况下每升高 300~600 米时休息一次,可根据个体易感性不同对上升过程中调整停留时间,并且避免过量吸烟、饮酒、增加休息时长也是减轻高原低氧性增压反应的有效措施[82]。此外,药物对急进高原血压升高的预防及治疗也很重要,目前研究显示,碳酸酐酶抑制剂——乙酰唑胺仍然是预防急性高原血压升高的主要药物,它具有轻度利尿、改善血氧饱和度、降低血压、减轻高原反应的作用;血管紧张素转化酶抑制剂因在缺氧环境中 RAAS 敏感性下降,其在高原血压中的降压作用相对较小,应用亦较少,尤其在较高的海拔;然而在海拔 ≤ 3400 米,血管紧张素受体拮抗剂——替米沙坦可降低健康受试者血压; β 受体阻滞剂减慢心率、抑制交感活性、降低心肌收缩力,并减弱缺氧对心脏和通气反应,可持续降低夜间血压并减少心血管事件的发生,然而可能导致运动能力下降和血氧饱和度降低,通过选用兼具 α_1 受体阻断作用和非选择性的 β 受体阻断作用的卡维地洛可有较少上述副作用;二氢吡啶类的钙离子拮抗剂——硝苯地平对于降低高海拔的血压、肺动脉压,预防高原肺水肿均有作用,但目前暂无其单药应用的研究,Caravita 等人的研究显示,硝苯地平与替米沙坦联合使用大幅增加高原人群的肌肉氧输送,使得 3300 米处高原人群的降压效果与海平面人群无差异($P < 0.001$);除乙酰唑胺,其他利尿剂的高原降压研究较少,其降压作用及副作用争议较大[10] [70] [83]-[85]。

4.2. 移居、原驻高原血压防治

不少研究提出高原居住数天或数月后血压水平逐渐下降,综上所述,在高原长时间移居研究中发现移居者的 HBP 发病率通常高于原驻民,而低于急进高原的人群,这可能与原驻民在世代高原的居住过程中产生更稳定、甚至可遗传的适应,而久居移居高原人群产生习服相关;久居、世居高产生原适应或习服人群的血压水平及 HBP 发病率高于低地人群,而低于全国平均水平。为响应健康中国行动,贯彻“以基层为重点,以预防为主”的国家方针,我们要贯彻落实把血压管控从医院逐步向社区、从城市逐步向农村、从发达地区到高寒偏远地区转移工作,但高原地区因教育水平和医疗条件相对薄弱,血压管控水平远达不到国家基层高血压防治管理的基本要求[86]。

非药物治疗是高原人群基础血压管控水平的重要基石,通过戒烟、限酒、低盐、低脂低嘌呤饮食、改善基本生活环境(如适当提高常驻环境的温度)、控制体重、保证充足的休息、良好的心态、适当的运动来预防减少 HBP 的发生、发展。药物治疗是对二级以上及有相应并发症 HBP 患者血压管控的重要措施,除了上述提及的药物外,研究表明,罗布麻叶、红景天、绿萝花、兔耳草等中草药[55]及藏药均可用于降压[87] [88],以及目前研究热点——肠道菌群移植、重建等方式改善高原人群疾病耐受程度等[89]。药物结合非药物方式,通过联合、个体化用药降血压,此外政府、医疗机构应从知识普及、危险因素干预、首诊血压测量制度落实,以及患者规范化、持续化管理等各个方面落实,减少高原 HBP 患病率,提高高原血压的知晓率、治疗率、管理率。

5. 总结

HBP 是目前全球重大心脑血管疾患之一,目前还在逐年增长,提高 HBP “知、治、制”率刻不容缓,尤其高原人群。海拔作为血压的独立危险因素,与 HBP 关系复杂,高原环境低压、缺氧、湿寒、强辐射

等因素主要通过加重血管收缩、介导血管内皮损伤、引起内皮功能障碍、加重血液粘滞、改变肠道菌群及影响人群的生活饮食方式参与血压升高。然而，急进、移居、世居高原的人群血压变化各有特点，针对急进高原人群血压升高重点主要在于预防，而久居或世居高原人群血压则应注重改善生活习惯、及早诊治和血压的规范化、持续化管理。但目前高原人群血压习服、适应机制尚不十分明确，仍需不断探索。

基金项目

云南省教育厅科学研究基金项目“缺氧候选基因 GCH1 在白族人群中的表达及对 BH₄、NO 的影响”(2024Y904)。

参考文献

- [1] Yuan, Z., Zou, Y., Liu, X., Wang, L. and Chen, C. (2023) Longitudinal Study on Blood and Biochemical Indexes of Tibetan and Han in High Altitude Area. *Frontiers in Public Health*, **11**, Article 1282051. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1282051>
- [2] Garrido, E., Botella de Maglia, J. and Castillo, O. (2021) Acute, Subacute and Chronic Mountain Sickness. *Revista Clínica Española (English Edition)*, **221**, 481-490. <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2019.12.009>
- [3] Mallet, R.T., Burtcher, J., Pialoux, V., Pasha, Q., Ahmad, Y., Millet, G.P., *et al.* (2023) Molecular Mechanisms of High-Altitude Acclimatization. *International Journal of Molecular Sciences*, **24**, Article 1698. <https://doi.org/10.3390/ijms24021698>
- [4] 汪晓洲, 边惠萍, 杨蕾, 等. 高原地区原发性高血压与高原高血压患者的临床特征比较[J]. 中华高血压杂志, 2022, 30(1): 51-57.
- [5] 于冬梅, 李淑娟, 琚腊红, 等. 2010-2012 年中国成年居民高血压知晓率、治疗率和控制率现况[J]. 卫生研究, 2019, 48(6): 913-918.
- [6] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会, 等. 中国高血压防治指南(2024 年修订版) [J]. 中华高血压杂志(中英文), 2024, 32(7): 603-700.
- [7] 国家基层高血压防治管理指南 2020 版[J]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2021, 13(4): 26-37.
- [8] 夏宇, 杨娟, 庞林鸿, 等. 高原少数民族高血压患者基本公共卫生服务管理现状与血压控制结果分析[J]. 现代预防医学, 2024, 51(13): 2411-2416.
- [9] Boos, C.J., Woods, D.R., Varias, A., Biscocho, S., Heseltine, P. and Mellor, A.J. (2016) High Altitude and Acute Mountain Sickness and Changes in Circulating Endothelin-1, Interleukin-6, and Interleukin-17a. *High Altitude Medicine & Biology*, **17**, 25-31. <https://doi.org/10.1089/ham.2015.0098>
- [10] Bilo, G., Caravita, S., Torlasco, C. and Parati, G. (2019) Blood Pressure at High Altitude: Physiology and Clinical Implications. *Kardiologia Polska*, **77**, 596-603. <https://doi.org/10.33963/kp.14832>
- [11] Richalet, J., Letournel, M. and Souberbielle, J. (2010) Effects of High-Altitude Hypoxia on the Hormonal Response to Hypothalamic Factors. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **299**, R1685-R1692. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00484.2010>
- [12] Woods, D.R., O'Hara, J.P., Boos, C.J., Hodgkinson, P.D., Tsakirides, C., Hill, N.E., *et al.* (2017) Markers of Physiological Stress during Exercise under Conditions of Normoxia, Normobaric Hypoxia, Hypobaric Hypoxia, and Genuine High Altitude. *European Journal of Applied Physiology*, **117**, 893-900. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3573-5>
- [13] Narvaez-Guerra, O., Herrera-Enriquez, K., Medina-Lezama, J. and Chirinos, J.A. (2018) Systemic Hypertension at High Altitude. *Hypertension*, **72**, 567-578. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.118.11140>
- [14] Xanthakis, V. and Vasan, R.S. (2013) Aldosterone and the Risk of Hypertension. *Current Hypertension Reports*, **15**, 102-107. <https://doi.org/10.1007/s11906-013-0330-y>
- [15] 刘钢, 吴新华, 董榆, 等. ACE 基因 I/D 多态性与云南纳西族人群高原低氧习服、高血压及血脂异常的相关性研究[J]. 高原医学杂志, 2024, 34(2): 16-23.
- [16] 俞佳利, 项彦琳, 薛金贵. 血管紧张素转换酶 I/D 基因多态性与原发性高血压关系的研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2024, 22(17): 3161-3163.
- [17] Parati, G., Bilo, G., Faini, A., Bilo, B., Revera, M., Giuliano, A., *et al.* (2014) Changes in 24H Ambulatory Blood Pressure and Effects of Angiotensin II Receptor Blockade during Acute and Prolonged High-Altitude Exposure: A Randomized

- Clinical Trial. *European Heart Journal*, **35**, 3113-3122. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu275>
- [18] Yfantis, A., Mylonis, I., Chachami, G., Nikolaidis, M., Amoutzias, G.D., Paraskeva, E., *et al.* (2023) Transcriptional Response to Hypoxia: The Role of HIF-1-Associated Co-Regulators. *Cells*, **12**, Article 798. <https://doi.org/10.3390/cells12050798>
- [19] Ramakrishnan, S., Anand, V. and Roy, S. (2014) Vascular Endothelial Growth Factor Signaling in Hypoxia and Inflammation. *Journal of Neuroimmune Pharmacology*, **9**, 142-160. <https://doi.org/10.1007/s11481-014-9531-7>
- [20] Ahmad, A. and Nawaz, M.I. (2022) Molecular Mechanism of VEGF and Its Role in Pathological Angiogenesis. *Journal of Cellular Biochemistry*, **123**, 1938-1965. <https://doi.org/10.1002/jcb.30344>
- [21] Armenis, I., Kalotychou, V., Tzanetea, R., Konstantopoulos, K. and Rombos, I. (2021) The Effect of Endothelial Nitric Oxide Synthase G894T and T786C Polymorphisms on Hypoxia-Inducible Factor-1 Alpha Expression in Sickle Cell Disease. *Nitric Oxide*, **111**, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2021.03.004>
- [22] Jones, A.M., Vanhatalo, A., Seals, D.R., Rossman, M.J., Pikhova, B. and Jonvik, K.L. (2020) Dietary Nitrate and Nitric Oxide Metabolism: Mouth, Circulation, Skeletal Muscle, and Exercise Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **53**, 280-294. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002470>
- [23] Mugele, H., Marume, K., Amin, S.B., Possnig, C., Kühn, L.C., Riehl, L., *et al.* (2022) Control of Blood Pressure in the Cold: Differentiation of Skin and Skeletal Muscle Vascular Resistance. *Experimental Physiology*, **108**, 38-49. <https://doi.org/10.1113/ep090563>
- [24] 卫华. 高原高寒环境因素对内皮细胞的损伤作用及其保护作用化合物研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2012.
- [25] Konukoglu, D. and Uzun, H. (2016) Endothelial Dysfunction and Hypertension. In: Islam, M.S., Ed., *Hypertension: From Basic Research to Clinical Practice*, Springer, 511-540. https://doi.org/10.1007/5584_2016_90
- [26] 郭于琳, 姚巍. 全身免疫炎症指数与高血压病相关性的研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2024, 22(8): 1442-1444.
- [27] Lodge, K.M., Vassallo, A., Liu, B., Long, M., Tong, Z., Newby, P.R., *et al.* (2022) Hypoxia Increases the Potential for Neutrophil-Mediated Endothelial Damage in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **205**, 903-916. <https://doi.org/10.1164/rccm.202006-2467oc>
- [28] 刘从娜, 吴新华, 刘宏, 氧化应激在高原病中的研究进展[J]. 医学综述, 2024, 30(18): 2221-2226.
- [29] 瓦永禄, 郝丽娟, 瓦永凌. 高原病与氧化应激的关联[J]. 高原医学杂志, 2023, 33(2): 58-63.
- [30] Cong, X. and Kong, W. (2020) Endothelial Tight Junctions and Their Regulatory Signaling Pathways in Vascular Homeostasis and Disease. *Cellular Signalling*, **66**, Article ID: 109485. <https://doi.org/10.1016/j.cellsig.2019.109485>
- [31] Xue, Y., Wang, X., Wan, B., Wang, D., Li, M., Cheng, K., *et al.* (2022) Caveolin-1 Accelerates Hypoxia-Induced Endothelial Dysfunction in High-Altitude Cerebral Edema. *Cell Communication and Signaling*, **20**, Article No. 160. <https://doi.org/10.1186/s12964-022-00976-3>
- [32] 季敏. 老年原发性高血压与血液粘滞度的相关性研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2015.
- [33] 曾垦. 血液流变学、血脂与高血压关系的探讨[J]. 数理医药学杂志, 2012, 25(5): 604-605.
- [34] 陈聪, 刘宏, 吴新华. 高原地区高血压病机制的研究进展[J]. 高原医学杂志, 2021, 31(4): 53-58.
- [35] 罗强, 杨文娟, 张艺, 等. 藏药三果汤散对高原红细胞增多症模型大鼠氧化应激损伤的作用机制研究[J]. 中华中医药学刊, 2018, 36(10): 2401-2406.
- [36] 杨欢, 石玉红, 冉海凤, 等. 促红细胞生成素的生理功能及生成来源[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2021, 26(4): 434-443.
- [37] Sloop, G.D., Weidman, J.J. and St. Cyr, J.A. (2015) The Systemic Vascular Resistance Response: A Cardiovascular Response Modulating Blood Viscosity with Implications for Primary Hypertension and Certain Anemias. *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*, **9**, 403-411. <https://doi.org/10.1177/1753944715591450>
- [38] Yin, R., Wu, Y., Li, M., Liu, C., Pu, X. and Yi, W. (2024) Association between High-Altitude Polycythemia and Hypertension: A Cross-Sectional Study in Adults at Tibetan Ultrahigh Altitudes. *Journal of Human Hypertension*, **38**, 555-560. <https://doi.org/10.1038/s41371-024-00916-3>
- [39] Ribatti, D. (2012) Angiogenic Effects of Erythropoietin. *International Review of Cell and Molecular Biology*, **299**, 199-234. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394310-1.00005-9>
- [40] Salazar Vázquez, B.Y., Martini, J., Chávez Negrete, A., Cabrales, P., Tsai, A.G. and Intaglietta, M. (2009) Microvascular Benefits of Increasing Plasma Viscosity and Maintaining Blood Viscosity: Counterintuitive Experimental Findings. *Biomechanics*, **46**, 167-179. <https://doi.org/10.3233/bir-2009-0539>
- [41] Sidekhmenova, A.V., Aliev, O.I., Anishchenko, A.M., Dunaeva, O.I., Ulyakhina, O.A. and Plotnikov, M.B. (2024) Influence

- of a Decrease in Blood Viscosity on Arterial Pressure in Normotensive and Spontaneously Hypertensive Rats. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, **176**, 419-422. <https://doi.org/10.1007/s10517-024-06038-7>
- [42] Zhou, M., Mei, L., Jing, J., Yang, Y., Cai, X., Meng, X., *et al.* (2024) Blood Pressure Partially Mediated the Association of Insulin Resistance and Cerebral Small Vessel Disease: A Community-Based Study. *Journal of the American Heart Association*, **13**, e031723. <https://doi.org/10.1161/jaha.123.031723>
- [43] Zhao, F., Liu, Q., Li, Y., Feng, X., Chang, H. and Lyu, J. (2020) Association between Alcohol Consumption and Hypertension in Chinese Adults: Findings from the CHNS. *Alcohol*, **83**, 83-88. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2019.09.004>
- [44] Biddinger, K.J., Emdin, C.A., Haas, M.E., *et al.* (2022) Association of Habitual Alcohol Intake with Risk of Cardiovascular Disease. *JAMA Network Open*, **5**, e223849.
- [45] 中国心血管健康与疾病报告 2023 概要[J]. 中国循环杂志, 2024, 39(7): 625-660.
- [46] Tatsumi, Y., Morimoto, A., Asayama, K., Sonoda, N., Miyamatsu, N., Ohno, Y., *et al.* (2018) Association between Alcohol Consumption and Incidence of Impaired Insulin Secretion and Insulin Resistance in Japanese: The Saku Study. *Diabetes Research and Clinical Practice*, **135**, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.10.021>
- [47] 普珍, 秦珊珊, 白玛央吉, 等. 海拔对高血压患者肠道菌群影响的研究进展[J]. 西藏科技, 2024, 46(6): 35-41.
- [48] 林玥, 梁彤, 任明. 中、高海拔地区高血压患者肠道菌群的特点[J]. 中国心血管病研究, 2023, 21(10): 934-942.
- [49] Lv, J., Qi, P., Bai, L., Yan, X. and Zhang, L. (2022) Review of the Relationship and Underlying Mechanisms between the Qinghai-Tibet Plateau and Host Intestinal Flora. *Frontiers in Microbiology*, **13**, Article 1055632. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1055632>
- [50] 朱露露. 青海地区高血压患者的肠道菌群分布特点[D]: [硕士学位论文]. 西宁: 青海大学, 2020.
- [51] Abbasalizad Farhangi, M. and Vajdi, M. (2020) Gut Microbiota-Associated Trimethylamine *n*-Oxide and Increased Cardiometabolic Risk in Adults: A Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis. *Nutrition Reviews*, **79**, 1022-1042. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa111>
- [52] Robles-Vera, I., Toral, M. and Duarte, J. (2020) Microbiota and Hypertension: Role of the Sympathetic Nervous System and the Immune System. *American Journal of Hypertension*, **33**, 890-901. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpaa103>
- [53] Wang, L., Zhu, Q., Lu, A., Liu, X., Zhang, L., Xu, C., *et al.* (2017) Sodium Butyrate Suppresses Angiotensin II-Induced Hypertension by Inhibition of Renal (Pro)renin Receptor and Intrarenal Renin-Angiotensin System. *Journal of Hypertension*, **35**, 1899-1908. <https://doi.org/10.1097/hjh.0000000000001378>
- [54] Verhaar, B.J.H., Prodan, A., Nieuwdorp, M. and Muller, M. (2020) Gut Microbiota in Hypertension and Atherosclerosis: A Review. *Nutrients*, **12**, Article 2982. <https://doi.org/10.3390/nu12102982>
- [55] 宋佳颖, 梁贞, 强巴单增, 等. 高原地区高血压的研究进展[J]. 西藏医药, 2021, 42(2): 144-148.
- [56] Peng, W., Li, K., Yan, A.F., Shi, Z., Zhang, J., Cheskin, L.J., *et al.* (2022) Prevalence, Management, and Associated Factors of Obesity, Hypertension, and Diabetes in Tibetan Population Compared with China Overall. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article 8787. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148787>
- [57] 吴新华, 陈章荣, 刘宏, 等. 跨高原心血管疾病研究进展[J]. 大理大学学报, 2019, 4(10): 71-74.
- [58] 王啟秀, 王云超, 张春艳, 等. 不同海拔高度对高血压患病风险影响的 Meta 分析[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2023, 15(12): 1281-1286.
- [59] Pei, L., Wu, J., Wang, Z., Wang, X., Chen, Z., Li, J., *et al.* (2020) Geographic Variations and Potential Macro-Environmental Exposure of Hypertension: From the China Hypertension Survey. *Journal of Hypertension*, **38**, 829-838. <https://doi.org/10.1097/hjh.0000000000002352>
- [60] 亢玉婷, 王馨, 陈祚, 等. 西藏不同海拔地区高血压患病情况调查[J]. 中国慢性病预防与控制, 2017, 25(6): 427-431.
- [61] Song, C., Chongsuvivatwong, V., Zhu Luo Bu, O., Ji, D., Sang Zhuo Ma, B. and Sriplung, H. (2020) Relationship between Hypertension and Geographic Altitude: A Cross-Sectional Survey among Residents in Tibet. *Journal of International Medical Research*, **48**, 1-12. <https://doi.org/10.1177/0300060520903645>
- [62] 朱秀丽, 李晓云, 裴峰, 等. 急性高原暴露血压变化与急性高原病关系的临床研究[J]. 青春期健康, 2023, 21(8): 72-74.
- [63] 时明远, 李宗斌, 石亚君, 等. 高原对健康青年男性 24 h 动态血压的影响[J]. 军事医学, 2017, 41(8): 667-669, 683.
- [64] Yang, W., Melgarejo, J.D., Thijs, L., Zhang, Z., Boggia, J., Wei, F., *et al.* (2019) Association of Office and Ambulatory Blood Pressure with Mortality and Cardiovascular Outcomes. *JAMA*, **322**, 409-420. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.9811>
- [65] Chen, R., Yang, J., Liu, C., Ke, J., Gao, X., Yang, Y., *et al.* (2021) Blood Pressure and Left Ventricular Function Changes in Different Ambulatory Blood Pressure Patterns at High Altitude. *The Journal of Clinical Hypertension*, **23**, 1133-1143. <https://doi.org/10.1111/jch.14235>

- [66] 杨兵, 潘肯林, 刘新忠. 首次进入高海拔地区军人短期血压及生化指标变化情况的调查研究[J]. 河北医药, 2017, 39(9): 1413-1417.
- [67] Torlasco, C., Bilo, G., Giuliano, A., Soranna, D., Ravaro, S., Oliverio, G., *et al.* (2020) Effects of Acute Exposure to Moderate Altitude on Blood Pressure and Sleep Breathing Patterns. *International Journal of Cardiology*, **301**, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.09.034>
- [68] 刘阳, 张继航, 武晓静, 等. 高原暴露人群动脉血压变化与急性高原病的相关性分析[J]. 解放军医学杂志, 2014, 39(3): 226-230.
- [69] Burtcher, M., Philadelphia, M., Burtcher, J. and Likar, R. (2021) Sex-Specific Differences in Blood Pressure Responses Following Acute High-Altitude Exposure. *Journal of Travel Medicine*, **29**, taab035. <https://doi.org/10.1093/jtm/taab035>
- [70] 张涛, 郭文昀, 陈敏, 等. 高原世居人群高血压最新诊疗进展[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2019, 7(3): 28-31.
- [71] 赵青跃, 胡进明. 高原不同海拔地区正常人血压变化的分析[J]. 青海医药杂志, 2010, 40(7): 25-26.
- [72] Siqués, P., Brito, J., Banegas, J.R., León-Velarde, F., de la Cruz-Troca, J.J., López, V., *et al.* (2009) Blood Pressure Responses in Young Adults First Exposed to High Altitude for 12 Months at 3550 M. *High Altitude Medicine & Biology*, **10**, 329-335. <https://doi.org/10.1089/ham.2008.1103>
- [73] Yan, Y., Mao, Z., Jia, Q., Zhao, X. and Yang, S. (2023) Changes in Blood Pressure, Oxygen Saturation, Hemoglobin Concentration, and Heart Rate among Low-Altitude Migrants Living at High Altitude (5380 m) for 360 Days. *American Journal of Human Biology*, **35**, e23913. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23913>
- [74] 李昊, 刘晓彤, 吴怡璠, 等. 高原习服与适应的评估模型构建[J]. 科学通报, 2024, 69(24): 3628-3641.
- [75] 魏燕玲, 渡边丈真, 田中丰穗, 等. 青藏高原藏族移民的血压与血管性特征[J]. 运动精品, 2020, 39(10): 75-78.
- [76] 周晓波, 李素芝, 黄跃, 等. 汉族男青年移居高原不同时间血压观察[J]. 解放军预防医学杂志, 2009, 27(6): 453-454.
- [77] 吕媛, 李永德, 刘金娟, 等. 久居高原、高原超重肥胖中老年人血压及血脂的对比研究[C]//广州体育学院, 中国体育科学学会运动生理生化分会, 中国体育科学学会运动医学分会. 2022 年第七届广州运动与健康国际学术研讨会论文集. 2022: 261-262.
- [78] 梁贞. 西藏不同海拔各慢性高原病的患病率调查与研究[D]: [硕士学位论文]. 拉萨: 西藏大学, 2021.
- [79] Yue, L., Fan, Z., Sun, L., Feng, W. and Li, J. (2017) Prevalence of Essential Hypertension and Its Complications among Chinese Population at High Altitude. *High Altitude Medicine & Biology*, **18**, 140-144. <https://doi.org/10.1089/ham.2016.0078>
- [80] Wander, K., Su, M., Mattison, P.M., Sum, C., Witt, C.C., Shenk, M.K., *et al.* (2020) High-Altitude Adaptations Mitigate Risk for Hypertension and Diabetes-Associated Anemia. *American Journal of Physical Anthropology*, **172**, 156-164. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24032>
- [81] Vashishtha, V., Barhwal, K.K., Malhotra, V.K., Kumar, A., Hota, S.K., Norboo, T., *et al.* (2018) Prevalence and Risk Factors of Hypertension in Acclimatized Lowlanders Staying at High Altitude for Different Durations. *Journal of Human Hypertension*, **32**, 359-366. <https://doi.org/10.1038/s41371-018-0037-2>
- [82] Luks, A.M., Swenson, E.R. and Bärtsch, P. (2017) Acute High-Altitude Sickness. *European Respiratory Review*, **26**, Article ID: 160096. <https://doi.org/10.1183/16000617.0096-2016>
- [83] 胡力芹, 徐海峰, 张帆, 等. 高原高血压的防治进展及“真实世界”诊治现状[J]. 中华高血压杂志, 2024, 32(1): 24-28.
- [84] Caravita, S., Faini, A., Baratto, C., Bilo, G., Macarlupu, J.L., Lang, M., *et al.* (2018) Upward Shift and Steepening of the Blood Pressure Response to Exercise in Hypertensive Subjects at High Altitude. *Journal of the American Heart Association*, **7**, e008506. <https://doi.org/10.1161/jaha.117.008506>
- [85] Guo, Y., Liu, X., Zhang, Q., Shi, Z., Zhang, M. and Chen, J. (2022) Can Acute High-Altitude Sickness Be Predicted in Advance? *Reviews on Environmental Health*, **39**, 27-36. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0117>
- [86] 刘明波, 何新叶, 杨晓红, 等. 《中国心血管健康与疾病报告 2023》要点解读[J]. 中国全科医学, 2025, 28(1): 20-38.
- [87] 李杰, 赵英强. 藏药组药联合西医治疗高海拔地区世居者高血压的临床研究[J]. 中国疗养医学, 2021, 30(11): 1121-1126.
- [88] 李杰, 米玛国杰, 赵英强. 高海拔地区世居居民高血压药物治疗进展[J]. 实用心脑血管病杂志, 2021, 29(8): 130-134.
- [89] Zhou, B., Yuan, Y., Zhang, S., Guo, C., Li, X., Li, G., *et al.* (2020) Intestinal Flora and Disease Mutually Shape the Regional Immune System in the Intestinal Tract. *Frontiers in Immunology*, **11**, Article 575. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.00575>