

· 论 著 · DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2023.18.013

运动员与健康人进入高原环境后多导睡眠监测睡眠质量的 Meta 分析*

申杨磊,张俞苑,巴桑卓玛[△]

西藏大学高原健康科学研究中心,西藏拉萨 850000

摘要:目的 对现有的运动员与健康人进入高原环境后利用多导睡眠监测法研究睡眠状况变化的相关文献进行汇总、分析,以期高原人群睡眠的研究提供参考。方法 研究平原环境和高原环境下运动员与健康人的睡眠效率,非快速动眼期(NREM)1、2 期睡眠,NREM3、4 期睡眠,以及快速动眼期(REM)期睡眠、心率、血氧饱和度变化。检索中国知网、PubMed 数据库的相关文献,截止到 2023 年 2 月 20 日。结果 检索到 247 篇文献,经过筛选后纳入分析的文献共 12 篇。与平原环境相比:高原环境下健康人和运动员的睡眠效率下降($SMD = -0.89, 95\%CI: -1.20 \sim -0.59, P < 0.05$),健康人睡眠效率下降较运动员更明显($P < 0.05$);高原环境下健康人和运动员的 NREM1、2 期睡眠整体增加($SMD = 0.03, 95\%CI: -0.24 \sim 0.30, P < 0.05$),其中健康人增加较运动员更明显($P < 0.05$);高原环境下健康人和运动员的 NREM3、4 期睡眠均减少($SMD = -1.53, 95\%CI: -2.05 \sim -1.02, P < 0.05$),健康人减少较运动员更明显($P < 0.05$);高原环境下 REM 期睡眠均减少($SMD = -0.77, 95\%CI: -0.99 \sim -0.54, P < 0.05$),健康人 REM 期睡眠减少较运动员更明显($P < 0.05$);高原环境下健康人和运动员的心率均升高($I^2 = 74.7\%, P = 0.001, SMD = 1.32, 95\%CI: 1.05 \sim 1.59$),健康人心率增加较运动员更明显($P < 0.05$);高原环境下健康人和运动员的血氧饱和度均降低($I^2 = 96.4\%, P = 0.001, SMD = -4.22, 95\%CI: -4.79 \sim -3.66$),健康人降低较运动员更明显($P < 0.05$)。结论 运动员在高海拔环境下主要睡眠结构变化以 NREM2 期增加和 REM 期睡眠减少为主,而健康人在高原环境下睡眠变化主要为 NREM1、2 期睡眠整体增加但各比例不变,而 NREM3、4 期和 REM 期减少。健康人较运动员睡眠结构变化程度大,而造成这样结果的原因是运动员在高原环境下血氧饱和度和心率变化较小。

关键词:高原环境; 运动员; 多导睡眠监测; 低氧; Meta 分析

中图分类号:R339.54

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2023)18-2686-07

Meta analysis of polysomnography monitoring sleep quality in athletes and healthy people after entering high altitude environment*SHEN Yanglei, ZHANG Yuyuan, BASANG Zhuoma[△]

Plateau Health Science Research Center, Tibet University, Lhasa, Tibet 850000, China

Abstract: Objective To summarize and analyze the related literatures on the change of sleep status by polysomnography monitoring after the existing athletes and healthy people entering the plateau environment in order to provide reference for the study on the sleep of plateau population. **Methods** To study the changes of sleep efficiency, non-rapid eye movement (NREM) phase 1 and 2 sleep, NREM phase 3 and 4 sleep, rapid eye movement (REM) sleep, heart rate and blood oxygen saturation in the athletes and healthy people in plain environment and plateau environment. The relevant literatures of CNKI, PubMed database were retrieved until February 20, 2023. **Results** A total of 247 literatures were retrieved, and 12 literatures were included in the analysis after screening. Compared with the plain environment, the sleep efficiency of healthy people and athletes in the plateau environment was decreased ($SMD = -0.89, 95\%CI: -1.20 \sim -0.59, P < 0.05$), and the sleep efficiency decrease of healthy people was more significantly than that of athletes ($P < 0.05$). NREM1 and phase 2 sleep in the healthy people and athletes under the plateau environment were entirely increased ($SMD = 0.03, 95\%CI: -0.24 \sim 0.30, P < 0.05$), in which the increase of healthy people was more obvious than that of athletes ($P < 0.05$). NREM3 and phase 4 sleep in the healthy people and athletes were decreased ($SMD = -1.53, 95\%CI: -2.05 \sim -1.02, P < 0.05$), and the decrease of healthy people was more obvious

* 基金项目:西藏自治区第一批重点科技计划项目(08080002);西藏大学校级培育项目(ZDTSJH19-08);中央财政支持地方高校改革发展专项资金项目(藏财教指[2019]1号、藏财教指[2018]54号、藏财科教指[2020]79号);巴桑卓玛教授名师工作坊项目(藏财预指[2021]1号);巴桑卓玛学科领军人才项目(00060695/003)。

than that of athletes ($P < 0.05$). The REM phase sleep under the plateau environment in the healthy people and athletes was decreased ($SMD = -0.77, 95\% CI: -0.99 - -0.54, P < 0.05$), and the decrease of REM phase sleep in healthy people was more obvious than that in athletes ($P < 0.05$). The heart rate of healthy people and athletes under the plateau environment in the healthy people and athletes was increased ($I^2 = 74.7\%, P = 0.001, SMD = 1.32, 95\% CI: 1.05 - 1.59$), and the heart rate increase of healthy people was more significant than that of athletes ($P < 0.05$). The blood oxygen saturation in both healthy people and athletes was decreased ($I^2 = 96.4\%, P = 0.001, SMD = -4.22, 95\% CI: -4.79 - -3.66$), and the decrease in healthy people was more obvious than that in athletes ($P < 0.05$). **Conclusion** The main sleep structure changes of athletes at high altitude environment are dominated by the increase of NREM2 phase and decrease of REM phase sleep, while the sleep changes of healthy people at high altitude environment are mainly the overall increase of NREM phase 1 and 2 sleep, but each proportion is invariant with the same proportion, and the NREM phase 3 and 4 and REM sleep decrease. The results testify that the sleep structure changes of healthy people are greater than that of athletes. The reason causing this results is that the changes of blood oxygen saturation and heart rate in athletes in the high altitude environment are small.

Key words: plateau; athletes; polysomnography; hypoxia; Meta analysis

医学上一般将海拔 3 000 m 以上的地区定义为高原环境^[1],而高原运动员训练和运动生理学研究一般是在海拔 2 000~2 500 m,故也将海拔 2 000~2 500 m 的地区定义为高原^[2],高原具有特殊的低压、低氧环境。高原低压、低氧环境可以导致人体生理状态发生改变,其中包括对睡眠状态的影响^[3]。睡眠属于人体的正常生理活动,睡眠质量直接影响人体健康和日常活动,良好的睡眠可以促进人体的体力和精神状态恢复,现有研究显示高原环境下睡眠障碍发生率较高,其中西藏的大学生高原睡眠障碍的发生率在 20.5%,高原驻守官兵的睡眠障碍发生率在 67.9%^[4]。高原环境下睡眠障碍包括:睡眠结构改变、睡眠中断、频繁觉醒、失眠多梦、周期性呼吸、睡眠呼吸暂停等。TSENG 等^[5]对 40 名健康人急进高原后睡眠变缓的研究发现,慢性高原病与睡眠障碍的发生直接相关。潘磊等^[6]研究发现高原环境下睡眠过程中血氧饱和度变化与睡眠障碍发生同样直接相关。

通过文献检索发现目前国内研究对象均为汉族普通健康人与藏族普通健康人,其中汉族有急进高原样本和移居高原汉族样本。虽然运动员在中度高原(2 200 m 左右)条件训练的方法已被广泛采用^[7],但是运动员的睡眠研究较少,运动员在高海拔的高原环境下的睡眠研究更少,故而对运动员在高原环境下的睡眠研究具有更重要的意义。目前睡眠研究的主要方法有两种,即匹兹堡睡眠量表法和多导睡眠监测法,其中多导睡眠监测法对睡眠研究精准且全面,研究数据包括睡眠期间的脑电图、心电图、肌电图、血氧饱和度、心率等,不但可以对睡眠的不同阶段进行分析研究,还可以对睡眠期间生理数据进行记录,因而可将多导睡眠监测的相关研究数据进行分析总结,揭示运动员与普通健康人进入高原低压、低氧环境后睡眠的变化情况。因此,本文使用 Meta 分析方法对现有研究报道中进行运动员和健康人群在高原环境中

多导睡眠研究的文献进行了分析和对比,为后期进行相关研究提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 文献检索 检索中国知网(CNKI)、PubMed 两个数据库中收录的全部相关文献,截止日期为 2023 年 2 月 20 日。中文检索关键词:高原;低氧;运动员;睡眠监测;多导睡眠监测;睡眠质量;睡眠。英文关键词:plateau;high altitude;hypoxia;athletes;sleep monitoring;polysomnography;sleep quality;sleep。检索数据库内的所有文献。

1.2 纳入与排除标准 纳入标准:(1)全文研究的主题是运动员或普通健康人在平原环境下与进入高原环境后多导睡眠监测研究的相关文献(由于运动员训练多在 2 200 m 左右的环境,故将运动员研究文献的最低海拔设定为 2 000 m)。(2)文献具有完整的睡眠监测数据,包括非快速动眼期(NREM1)1、2、3、4 期,快速动眼期(REM)和睡眠效率等各个项目的均值(\bar{x})、标准差(s)以及 95% 可信区间(CI)。生理指标有心率和血氧饱和度。(3)文献中有完整的平原研究数据和高原研究数据。排除标准:(1)睡眠数据不完整的研究;(2)非高原环境的睡眠研究(海拔 $< 2 000$ m)。

1.3 数据提取 两位研究者分别独立检索了数据库,删除重复的研究。在筛选候选研究的全文之前,由独立审稿人对符合纳入标准的每项研究的标题和摘要进行筛选。还评估了所选文章的参考文献列表。两名研究人员独立提取所有纳入研究的数据,包括一般信息(第一作者、年份)、研究方法、实验设计、多导睡眠监测数据、睡眠过程中的生理指标变化。

观察的数据有:(1)主要数据是运动员和健康人在平原环境下与高原环境下的多导睡眠监测数据,其中包括睡眠效率和睡眠过程中 NREM 1、2、3、4 期和 REM 期的变化数据;(2)次要数据为心率和血氧饱和度。

1.4 偏倚风险评估 使用 RevMan5.41 软件进行纳入文章质量的评估,由于研究主题是运动员与健康人在高原环境中睡眠状态变化,属于观察性研究,故采取了美国卫生保健质量和研究机构(AHRQ)推荐的 AHRQ 横断面研究评价标准工具^[8-9],通过是否满足表中 11 项条件来评价文献质量。每一项选择有“是”“否”“不清楚”3 个选择,“是”加 1 分,“否”扣 1 分,“不清楚”记 0 分。满分共 11 分,文献得分 0~3 分为低质量,4~7 分为中质量,8~11 分为高质量。由于研究过程中不存在随访,故对 AHRQ 文献质量评价工具的第 4 条、第 7 条及第 11 条进行排除,文献质量评价得分修改后满分为 8 分,文献得分<0 分为质量差文献,0~2 分为低质量文献,3~5 分为中质量文献,6~8 分为高质量文献。

1.5 数据分析 通过 RevMan5.41 软件进行统计分析,结果采用标准化均数差(SMD)及 95%CI 进行评价,评价文献异质性采用 χ^2 检验(检验水准 $\alpha = 0.05$)。分析结果如果显示 $P < 0.05$ 且 $I^2 > 50\%$ 就说明异质性较大,需要进一步分析异质性的来源,明确异质性来源后选择随机效应模型,反之则不需要分析异质性来源并选用固定效应模型。敏感性分析、亚组分析、Egger 检验、剪补法检验、Meta 回归分析是通过 STATA SE 16 软件进行分析。对于不同运动员数据记录方式不同,通过 Cochrane 官网检索到的指导手册公式进行转换,改为统一格式进行统计^[10]。

2 结 果

2.1 文献检索结果 本文共计查到文献 247 篇。通过严格筛选文献,排除重复文献、数据不完整的文献、非高原环境睡眠研究的文献,最终纳入 12 篇英文文献进行 Meta 分析,见表 1。

2.2 文献质量评价结果 根据 AHRQ 评价标准和 RevMan5.41 对文献进行评价,按照 AHRQ 评分来评估结果,结果均 ≥ 6 分,属于低风险文献,从而保证 Meta 分析结果的可靠性。文献评价显示有 5 篇文章

低于 8 分,其中最低分为 6 分的文献有 4 篇,分别为 HOSHIKAWA 等^[11-13]和 KINSMAN 等^[14]的研究。

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 睡眠分析结果 与平原环境相比:高原环境下健康人和运动员的睡眠效率下降($I^2 = 89.1\%$; $SMD = -0.89$, 95%CI: $-1.20 \sim -0.59$, $P < 0.05$),健康人睡眠效率下降较运动员更明显($P < 0.05$);高原环境下健康人和运动员的 NREM1、2 期睡眠整体增加($I^2 = 77.1\%$; $SMD = 0.03$, 95%CI: $-0.24 \sim 0.30$, $P < 0.05$),其中健康人增加较运动员更明显($P < 0.05$),而运动员高原环境 NREM2 期比例明显增加($P < 0.05$)、NREM1 期无变化($P > 0.05$);高原环境下健康人和运动员的 NREM3、4 期睡眠均减少($I^2 = 91.4\%$; $SMD = -1.53$, 95%CI: $-2.05 \sim -1.02$, $P < 0.05$),健康人减少较运动员更明显($P < 0.05$);高原环境下 REM 期睡眠均减少($I^2 = 46.4\%$; $SMD = -0.77$, 95%CI: $-0.99 \sim -0.54$, $P < 0.05$),健康人 REM 期睡眠减少较运动员更明显($P < 0.05$)。见表 2~6。

表 1 文献纳入情况

文献	发表年份	海拔(m)	n	人员类型
[11]	2015 年	模拟 2 000	7	运动员
[12]	2014 年	模拟 2 000	14	运动员
[13]	2007 年	模拟 2 000	8	运动员
[14]	2005 年	模拟 2 650	14	运动员
[15]	2013 年	3 600	10	运动员
[16]	2015 年	2 835	17	普通健康人
[17]	2013 年	2 590	51	普通健康人
[18]	2017 年	3 250	88	普通健康人
[19]	2010 年	2 590	20	普通健康人
[20]	2011 年	4 559	14	普通健康人
[21]	2012 年	4 559	16	普通健康人
[22]	2012 年	4 559	9	普通健康人

表 2 不同人群睡眠效率亚组分析

文献	发表年份	SMD(95%CI)	权重(%)	人员类型	组内差异	组间差异
[19]	2010 年	-3.36(-4.34~-2.39)	9.64	健康人	$I^2 = 0.0\%$; $P = 0.947$	$I^2 = 89.1\%$; $P = 0.001$
[21]	2012 年	-3.41(-4.51~-2.30)	7.53	健康人		
[21]	2012 年	-3.12(-4.54~-1.70)	4.56	健康人		SMD = -0.89
[15]	2013 年	-0.72(-1.63~0.18)	11.18	运动员	$I^2 = 0.0\%$; $P = 0.444$	SMD 95%CI: $-1.20 \sim -0.59$
[13]	2007 年	0.71(-0.30~1.73)	8.95	运动员		
[12]	2014 年	-0.37(-1.12~0.37)	16.48	运动员		
[12]	2014 年	-0.31(-1.06~0.44)	16.58	运动员		
[11]	2015 年	-0.04(-1.08~1.01)	8.40	运动员		
[14]	2005 年	-0.22(-0.97~0.52)	16.68	运动员		

表 3 不同人群 NREM1、2 期睡眠亚组分析

文献	发表年份	SMD(95%CI)	权重(%)	人员类型	组内差异	组间差异
[18]	2017 年	1.51(1.02~1.99)	18.14	健康人	$I^2=0.0\%;P=0.723$	$I^2=77.1\%;P=0.001$
[19]	2010 年	1.24(0.56~1.92)	9.21	健康人		SMD=0.03
[21]	2012 年	0.98(0.19~1.77)	6.87	健康人		SMD 95%CI:-0.24~0.30
[21]	2012 年	1.33(0.56~2.10)	7.18	健康人		
[15]	2013 年	0.12(-0.50~0.74)	11.07	运动员	$I^2=0.0\%;P=0.956$	
[13]	2007 年	-0.16(-0.86~0.53)	8.84	运动员		
[12]	2014 年	-0.02(-0.76~0.72)	7.76	运动员		
[12]	2014 年	0.17(-0.57~0.91)	7.73	运动员		
[11]	2015 年	-0.20(-0.95~0.54)	7.72	运动员		
[14]	2005 年	0.15(-0.38~0.67)	15.48	运动员		

表 4 运动员的 NREM2 期睡眠对比分析

文献	发表年份	高原 NREM2 期	平原 NREM2 期	人员类型	整体差异
[15]	2013 年	48.42±8.33	45.00±5.83	运动员	$I^2=0.0\%;P=0.01$
[13]	2007 年	53.57±12.47	46.09±7.50	运动员	SMD=3.24
[12]	2014 年	53.67±6.50	52.17±6.10	运动员	SMD 95%CI:0.70~5.77
[12]	2014 年	47.11±5.31	47.04±6.79	运动员	
[11]	2015 年	52.16±3.54	49.24±6.27	运动员	
[14]	2005 年	54.50±8.10	49.10±5.50	运动员	

表 5 NREM3、4 期亚组分析

文献	发表年份	SMD(95%CI)	权重(%)	人员类型	组内差异	组间差异
[20]	2011 年	-4.54(-5.98~-3.10)	12.97	健康人	$I^2=19.5\%;P=0.289$	$I^2=91.4\%;P=0.001$
[21]	2012 年	-6.73(-9.23~-4.22)	4.27	健康人		SMD=-1.53
[21]	2012 年	-4.48(-6.29~-2.67)	8.23	健康人		SMD 95%CI:-2.05~-1.02
[13]	2007 年	-0.74(-1.75~0.28)	25.95	运动员	$I^2=0.0\%;P=0.693$	
[12]	2014 年	-0.29(-1.34~0.76)	24.17	运动员		
[12]	2014 年	-0.12(-1.17~0.93)	24.41	运动员		

2.3.2 心率与血氧饱和度分析结果 与平原环境相比,高原环境下健康人和运动员的心率均升高($I^2=74.7\%,P=0.001,SMD=1.32,95\%CI:1.05\sim 1.59$),健康人心率增加较运动员更明显($P<0.05$),见表 7。与平原环境相比,高原环境下健康人和运动员的血氧饱和度均降低($I^2=96.4\%,P=0.001,SMD=-4.22,95\%CI:-4.79\sim -3.66$),健康人下降较运动员更明显($P<0.05$),见表 8。

2.4 发表偏倚 高原环境对 NREM1、2 期的影响的 Egger 检验结果($P=0.405,Coef$ 的 $95\%CI:-12.703\sim 5.693$)显示无发表偏倚;高原环境对 NREM3、4 期影响的 Egger 检验结果($P=0.011,Coef$ 的 $95\%CI:-16.197\sim -3.864$)显示 NRM3、4 期存在发表偏倚,对实验结果存在影响。高原环境对心率影响的 Egger 检验结果显示($P=0.039,Coef$ 的

$95\%CI:-18.16\sim 0.736$)存在发表偏倚,对分析结果可能存在影响。高原环境对血氧饱和度影响的 Egger 检验结果($P=0.248,Coef$ 的 $95\%CI:-9.067\sim 2.845$)显示无发表偏倚,对结果不存在影响。

2.5 敏感性及异质性分析 对睡眠效率数据按人员类型和海拔进行亚组分析,结果发现各亚组内异质性较小,但整体异质性依然为 $I^2=89.1\%$ 没有变化,故进行 Meta 回归分析异质性来源。结果显示不同人员类型的睡眠效率之间差异有统计学意义($P=0.002$),并且回归模型拟合程度高($R^2=0.827$),证明睡眠效率数据异质性的主要来源为人员类型的不同。

由于 NREM1、2 期睡眠数据按人员类型和海拔进行亚组分析,结果无法确认异质性的来源。故使用 Meta 回归进行分析,结果显示不同人员类型的 NREM1、2 期睡眠变化差异有统计学意义($P=$

0.021),并且与回归模型拟合程度高($R^2=0.813$),证明 NREM1、2 期睡眠数据异质性的主要来源为人员类型的不同。

对 NREM3、4 期睡眠数据按人员类型和海拔进行亚组分析时,组间差异有统计学意义($P<0.001$)。通过 Meta 回归分析进行验证,结果显示不同人员类型的 NREM3、4 期睡眠变化差异有统计学意义($P=0.001$),且回归模型的拟合程度高($R^2=0.992$),故而证明 NREM3、4 期睡眠数据异质性的主要来源为人员类型不同。

心率数据按人员类型和海拔进行亚组分析时,各组内无异质性而整体异质性保持不变。故进行 Meta

回归分析异质性来源,结果显示心率变化与海拔因素和人员类型无统计学意义($P>0.05$),证明两者同时纳入研究不会产生异质性,说明异质性的来源不是单一因素产生的。结合亚组分析与 Meta 回归结果分析证明海拔因素与人员类型均是异质性的主要来源。

血氧饱和度数据进行亚组分析结果显示,按人员类型和海拔进行分组时,各组内无异质性而整体异质性保持不变。故进行 Meta 回归分析,结果显示血氧饱和度与海拔的相关性有统计学意义($P=0.006$),并且回归模型拟合程度高($R^2=0.891$),证明血氧饱和度数据中的异质性主要来源于海拔因素。

表 6 不同人群 REM 期亚组分析

文献	发表年份	SMD(95%CI)	权重(%)	人员类型	组内差异	组间差异
[16]	2015 年	-0.41(-1.09~0.27)	10.88	健康人	$I^2=42.5\%;P=0.139$	$I^2=46.4\%;P=0.045$ $SMD=-0.77;SMD\ 95\%CI:-0.99\sim-0.54$
[18]	2017 年	-1.07(-1.53~-0.62)	23.94	健康人		
[19]	2010 年	-0.74(-1.38~-0.10)	12.21	健康人		
[19]	2010 年	-0.92(-1.57~-0.27)	11.77	健康人		
[21]	2012 年	-1.77(-2.59~-0.94)	7.39	健康人	$I^2=23.1\%;P=0.260$	
[15]	2013 年	-0.51(-1.34~0.32)	7.38	运动员		
[13]	2007 年	-0.14(-1.12~0.84)	5.22	运动员		
[12]	2014 年	0.00(-1.05~1.05)	4.58	运动员		
[12]	2014 年	-1.19(-2.34~-0.04)	3.80	运动员		
[11]	2015 年	0.50(-0.56~1.57)	4.42	运动员		
[14]	2005 年	-0.80(-1.58~-0.03)	8.43	运动员		

表 7 不同人群的心率亚组分析

文献	发表年份	SMD(95%CI)	权重(%)	人员类型	组内差异	组间差异
[17]	2013 年	1.95(1.48~2.42)	32.51	健康人	$I^2=0.0\%;P=0.713$	$I^2=74.7\%;P=0.001$ $SMD=1.32;SMD\ 95\%CI:1.05\sim1.59$
[19]	2010 年	2.27(1.47~3.08)	11.27	健康人		
[21]	2012 年	1.75(0.65~2.86)	5.95	健康人		
[13]	2007 年	0.91(-0.13~1.95)	6.77	运动员	$I^2=0.0\%;P=0.548$	
[12]	2014 年	1.20(0.39~2.01)	11.10	运动员		
[12]	2014 年	0.46(-0.29~1.21)	12.90	运动员		
[11]	2015 年	0.31(-0.74~1.37)	6.54	运动员		
[14]	2005 年	0.42(-0.33~1.16)	12.96	运动员		

表 8 不同人群的血氧饱和度亚组分析

文献	发表年份	SMD(95%CI)	权重(%)	人员类型	组内差异	组间差异
[17]	2013 年	-12.35(-14.11~-10.60)	10.36	健康人	$I^2=23.5\%;P=0.271$	$I^2=96.4\%;P=0.001$ $SMD=-4.22;SMD\ 95\%CI:-4.79\sim-3.66$
[20]	2011 年	-14.91(-19.03~-10.79)	18.80	健康人		
[21]	2012 年	-15.27(-19.20~-11.35)	2.07	健康人		
[13]	2007 年	-3.28(-4.84~-1.72)	13.09	运动员	$I^2=23.2\%;P=0.272$	

续表 8 不同人群的血氧饱和度亚组分析

文献	发表年份	SMD(95%CI)	权重(%)	人员类型	组内差异	组间差异
[12]	2014 年	-2.25(-3.21~-1.29)	34.55	运动员		
[11]	2015 年	-2.22(-3.59~-0.85)	16.91	运动员		
[14]	2005 年	-3.60(-4.83~-2.38)	21.15	运动员		

3 讨 论

本研究结果发现运动员在高海拔环境下主要睡眠结构变化为 NREM2 期增加和 REM 期睡眠减少,而健康人在高原环境下睡眠结构变化主要为 NREM1、2 期睡眠增加,而 NREM3、4 期和 REM 期睡眠减少,且健康人群较运动员睡眠结构变化程度大。回归分析结果显示回归模型与人员类型的拟合程度最高,证明人员类型是异质性的主要来源。

NREM2 期睡眠属于非快速动眼期向深度睡眠过渡阶段,研究显示 NREM2 期睡眠增加与睡眠质量直接相关^[23],高原环境下运动员 NREM2 期睡眠增加对训练和体力恢复有巨大影响。REM 期睡眠属于快速动眼期睡眠同时会产生梦,REM 期睡眠深度较浅并且大脑警觉性高,REM 期睡眠可以提高人体的记忆力和思维反应能力,相反 REM 期睡眠减少对运动员记忆力、反应能力和认知能力会造成影响^[24];健康人群在高原低氧环境下睡眠显示为 NREM1、2 期睡眠增加而 NREM3、4 期和 REM 期睡眠减少,说明健康人群在高原环境下多处于浅睡眠状态,且健康人群 NREM2 期睡眠比例较运动员小,睡眠质量较低,与运动员相比更难恢复体力与精力,更容易出现疲劳、嗜睡、注意力不集中、记忆力减退等情况。

分析原因发现造成高原环境下运动员与健康人群睡眠差异的原因有:(1)高原环境下为维持机体供氧会导致心率增加,需提高机体内的氧气运输来改善缺氧状态,这是健康人群进入高原低氧环境后心率变化较大的主要原因,而运动员由于平时运动强度普遍比其他人群强,运动时间更长,平时就会经常存在“运动缺氧”状态,且普遍存在“运动员心脏”,因此,运动员在高原环境下心率变化较小,抗低氧的能力也较普通健康人强,可以更好地适应低氧环境;(2)高原环境下血氧饱和度降低可导致睡眠期间周期性呼吸与呼吸暂停发生,周期性呼吸与睡眠呼吸暂停可直接导致睡眠周期紊乱和睡眠障碍的发生^[25]。而周期性呼吸与睡眠呼吸暂停多发于浅睡眠阶段,与运动员相比,健康人群血氧饱和度更低,在高原环境下更易发生睡眠周期紊乱和睡眠障碍。

本研究主要存在以下问题:(1)多导睡眠监测数据大多来源于国外学者的研究,国内研究较少;(2)文献中运动员睡眠研究在海拔 3 600 m 仅有 1 篇,其他文献均在海拔 2 200 m 左右且是模拟中度高原低氧环境并无低压等其他高原环境条件,与真实高原低

压、低氧环境存在差异;(3)在研究过程中运动员睡眠各期的监测数据较为完整,但健康人的多导睡眠分期数据大多以合并形式存在且单位大多不统一,故在本文中对纳入文献数据均转换为百分数后进行 Meta 分析。对于文献中只有均值与 95%CI 的文献数据通过 WAN 等^[26]文献中的计算公式进行推导 SMD 以尽量减小误差,提高数据分析的可信度。

综上所述,运动员与健康人群在高原环境下睡眠变化具有明显的差异,证明高原环境下运动员与健康人属于不同群体。目前国内运动员在高原环境下的多导睡眠监测研究较少,因此需要加大相关研究力度,为运动员在高原环境下睡眠及睡眠期间的生理效应变化研究提供数据支撑。

参考文献

- [1] 王欢,马琼,马保安.高原环境对人体健康的影响[J].医学信息,2020,33(22):58-61.
- [2] 高蕾,李方明,马海林,等.长期高海拔暴露对高原移居大学生睡眠质量的影响[J].高原科学研究,2021,5(1):49-55.
- [3] 田丽珊,姚艳冬,周维,等.高原驻防驻训官兵睡眠障碍防治研究进展[J].军事医学,2020,44(7):546-551.
- [4] 刘艳桥.中国高原睡眠障碍流行病学调查概况[J].世界睡眠医学杂志,2021,8(1):180-182.
- [5] TSENG C H, LIN F C, CHAO H S, et al. Impact of rapid ascent to high altitude on sleep[J]. Sleep Breath, 2015, 19(3):819-826.
- [6] 潘磊,许文兵.高原低氧环境对睡眠的影响[C]//中国铁道学会.青藏铁路运营十周年学术研讨会卫生系统论文集,拉萨,2016.北京:中国铁道学会,2016.
- [7] 冯小华.不同海拔高度训练对西藏世居高原马拉松项目运动员运动成绩的影响研究[D].北京:北京体育大学,2019.
- [8] 李柄辉,瞿豪,李路遥,等.医学领域一次研究和二次研究的方法学质量(偏倚风险)评价工具[J].医学新知,2021,31(1):51-58.
- [9] 曾宪涛,刘慧,陈曦,等.Meta 分析系列之四:观察性研究的质量评价工具[J].中国循证心血管医学杂志,2012,4(4):297-299.
- [10] CUMPSTON M, LI T, PAGE M J, et al. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the cochrane handbook for systematic reviews of interventions[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2019, 10; Ed000142.
- [11] HOSHIKAWA M, UCHIDA S, OSAWA T, et al. Effects of five nights under normobaric hypoxia on sleep quality

- [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2015, 47(7):1512-1518.
- [12] HOSHIKAWA M, UCHIDA S, GANEKO M, et al. Sleep quality under mild hypoxia in men with low hypoxic ventilatory response[J]. *Eur J Sport Sci*, 2014, 14 Suppl 1: S205-S212.
- [13] HOSHIKAWA M, UCHIDA S, SUGO T, et al. Changes in sleep quality of athletes under normobaric hypoxia equivalent to 2,000-m altitude: a polysomnographic study [J]. *J Appl Physiol* (1985), 2007, 103(6):2005-2011.
- [14] KINSMAN T A, TOWNSEND N E, GORE C J, et al. Sleep disturbance at simulated altitude indicated by stratified respiratory disturbance index but not hypoxic ventilatory response [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2005, 94 (5/6): 569-575.
- [15] SARGENT C, SCHMIDT W F, AUGHEY R J, et al. The impact of altitude on the sleep of young elite soccer players (ISA3600) [J]. *Br J Sports Med*, 2013, 47 Suppl 1 (Suppl 1):i86-i92.
- [16] ANDERSON P J, WISTE H J, OSTBY S A, et al. Sleep disordered breathing and acute mountain sickness in workers rapidly transported to the South Pole (2835 m) [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2015, 210:38-43.
- [17] LATSHANG T D, LO CASCIO C M, STÖWHAS A C, et al. Are nocturnal breathing, sleep, and cognitive performance impaired at moderate altitude (1 630 – 2 590 m)? [J]. *Sleep*, 2013, 36(12):1969-1976.
- [18] LATSHANG T D, FURIAN M, AESCHBACHER S S, et al. Association between sleep apnoea and pulmonary hypertension in Kyrgyz highlanders [J]. *Eur Respir J*, 2017, 49(2):1601530.
- [19] NUSSBAUMER-OCHSNER Y, SCHUEPFER N, ULRICH S, et al. Exacerbation of sleep apnoea by frequent central events in patients with the obstructive sleep apnoea syndrome at altitude: a randomised trial [J]. *Thorax*, 2010, 65(5):429-435.
- [20] NUSSBAUMER-OCHSNER Y, SCHUEPFER N, SIEBENMANN C, et al. High altitude sleep disturbances monitored by actigraphy and polysomnography [J]. *High Alt Med Biol*, 2011, 12(3):229-236.
- [21] NUSSBAUMER-OCHSNER Y, SCHUEPFER N, URSPRUNG J, et al. Sleep and breathing in high altitude pulmonary edema susceptible subjects at 4,559 meters [J]. *Sleep*, 2012, 35(10):1413-1421.
- [22] NUSSBAUMER-OCHSNER Y, URSPRUNG J, SIEBENMANN C, et al. Effect of short-term acclimatization to high altitude on sleep and nocturnal breathing [J]. *Sleep*, 2012, 35(3):419-423.
- [23] 罗现科, 庞冉, 迟晨雨, 等. 针灸对慢性失眠病人睡眠进程、睡眠结构及 N2 期睡眠梭形波的影响 [J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2020, 18(1):160-162.
- [24] 丁锦红, 张钦, 郭春彦. 眼睛运动如何与记忆相关? [J]. *心理科学进展*, 2006, 24(1):1-6.
- [25] 李玉红, 格日力. 高原睡眠呼吸紊乱与急性高原病的相关性研究进展 [J]. *生理科学进展*, 2014, 45(2):154-158.
- [26] WAN X, WANG W, LIU J, et al. Estimating the sample mean and standard deviation from the sample size, median, range and/or interquartile range [J]. *BMC Med Res Methodol*, 2014, 14:135.

(收稿日期:2023-02-27 修回日期:2023-07-12)

(上接第 2685 页)

- new vertebral fractures after percutaneous vertebroplasty: a prospective study [J]. *Global Spine J*, 2019, 9(7): 754-760.
- [13] BOISSON M, RANNOU F, NGUYEN C. Polymethylmethacrylate-induced Modic 1 changes following percutaneous vertebroplasty and intradiscal cement leakage: a case report [J]. *Joint Bone Spine*, 2019, 86(2):267-268.
- [14] 高贵营, 夏庆福, 黄立军, 等. 椎弓根螺钉结合骨水泥椎体成形术对骨质疏松性胸腰椎骨折患者远期疗效的前瞻性研究 [J]. *中国骨与关节杂志*, 2018, 7(7):494-498.
- [15] GONZÁLEZ S G, BASTIDA G C, VLAD M D, et al. Analysis of bone cement distribution around fenestrated pedicle screws in low bone quality lumbosacral vertebrae [J]. *Int Orthop*, 2019, 43(8):1873-1882.
- [16] 张庆峰, 刘士懂, 张震, 等. 单侧分步穿刺骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效分析 [J]. *实用骨科杂志*, 2019, 25(12): 1110-1114.
- [17] ZHANG T Y, ZHANG P X, XUE F, et al. Risk factors for cement leakage and nomogram for predicting the intradiscal cement leakage after the vertebra augmented surgery [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1): 792.
- [18] HERSHKOVICH O, LUCANTONI C, KAPOOR S, et al. Bone marrow washout for multilevel vertebroplasty in multiple myeloma spinal involvement. Technical note [J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(6):1455-1460.
- [19] 吴国勇, 张景俊, 肖睿. 经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体骨坏死疗效分析 [J]. *医学研究杂志*, 2019, 48(9):127-130.

(收稿日期:2023-02-20 修回日期:2023-07-13)