

高强度运动对大学水平碰撞和竞技运动运动员颈椎测量、前庭/眼运动筛查和前庭-眼反射功能的影响

唐 晖^{1*#}, 王雪峰², 吴鑫浩³, 邴 馨³, 郭 娜⁴, 曹 雪³

¹空军招飞局济南选拔中心体检科, 山东 济南

²空军招飞局体检办, 北京

³山东大学附属山东省立医院耳鼻咽喉头颈外科, 山东 济南

⁴山东第一医科大学附属山东省立医院耳鼻咽喉头颈外科, 山东 济南

收稿日期: 2023年6月25日; 录用日期: 2023年7月19日; 发布日期: 2023年7月26日

摘 要

目的: 检查高强度体力消耗如何影响颈椎(CSp)、前庭/眼球运动屏幕(VOMS)和前庭眼球反射(VOR)功能的临床测量。方法: 病例系列。设置: 运动医学中心参与者: 共有111名男性运动员同意参加(66名橄榄球运动员, 45名摔跤运动员; 中位年龄 = 17岁[范围16~19]岁)。主要结果测量: 结果测量包括CSp测试(颈屈肌耐力、头部扰动测试、颈屈曲旋转测试和前外侧强度)、VOR(头部推力测试和动态视力[DVA]), 以及VOMS的量化版本。在完成30-15间断体能测试之前和之后评估这些指标。使用Bland-Altman图和Wilcoxon符号秩检验分析数据, 使用 $p < 0.004$ 。结果: 左侧用力后颈椎前外侧强度(kg)降低($z = 3.87$; $p < 0.001$), 但不在条件之间的右侧($z = -1.49$; $p = 0.14$)。运动员报告头晕增加($z = -3.55$; $p = 0.004$), 运动后DVA减少($z = -2.78$; $p < 0.001$)。运动后所有其他指标没有显著差异($p > 0.011$)。结论: DVA表现降低, 左前外侧力量降低, 头晕加重。发生在大学碰撞和好斗运动员的高强度运动后, 这对与运动相关的脑震荡的边线筛查有影响。

关键词

外力, 颈椎, 前庭/眼动筛查, 前庭眼反射

*第一作者。

#通讯作者。

Effect of High-Intensity Exercise on Measures of Cervical Spine, Vestibular/Ocular-Motor Screening, and Vestibulo-Ocular Reflex Function in University Level Collision and Combative Sport Athletes

Hui Tang^{1*#}, Xuefeng Wang², Xinhao Wu³, Xin Bing³, Na Guo⁴, Xue Cao³

¹Medical Examination Department of Jinan Selection Center, Pilot Selection Bureau of PLA Air Force, Jinan Shandong

²Physical Examination Office of Pilot Selection Bureau of PLA Air Force, Beijing

³Department of Otolaryngology, Shandong Provincial Hospital, Shandong University, Jinan Shandong

⁴Department of Otolaryngology, Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan Shandong

Received: Jun. 25th, 2023; accepted: Jul. 19th, 2023; published: Jul. 26th, 2023

Abstract

Objectives: To examine how high-intensity physical exertion affects clinical measures of cervical spine (CSp), vestibular/ocular motor screen (VOMS), and vestibulo-ocular reflex (VOR) function. **Method:** Case series. **Setting:** Sports Medicine Centre. **Participants:** A total of 111 athletes consented to participate (66 rugby, 45 wrestling; median age = 17 years [range 16~19 years]). **Main Outcome Measures:** Outcome measures included tests of CSp (cervical flexor endurance, head perturbation test, cervical flexion rotation test and anterolateral strength), VOR (head thrust test and dynamic visual acuity [DVA]), and a quantified version of the VOMS. These metrics were assessed prior to and after completing the 30-15 Intermittent Fitness Test. Bland-Altman plots and Wilcoxon signed-rank tests were utilized to analyze the data using an alpha of $p < 0.004$. **Results:** Cervical anterolateral strength (kg) was reduced post-exertion on the left ($z = 3.87$; $p < 0.001$), but not on the right between conditions ($z = -1.49$; $p = 0.14$). Athletes reported increased dizziness ($z = -3.55$; $p = 0.004$) and had reduced DVA following exertion ($z = -2.78$; $p < 0.001$). All other metrics were not significantly different following exertion ($p > 0.011$). **Conclusion:** Reduced performance on DVA, decreased left- anterolateral strength, and increased dizziness occurred following high-intensity exertion in varsity collision and combative athletes, which has implications for sideline screening for sport-related concussion.

Keywords

External Force, Cervical Spine, Vestibular/Ocular-Motor Screening, Vestibulo-Ocular Reflex

Copyright © 2023 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. 介绍

运动相关脑震荡(Sports-related concussion, SRC)是一种轻度创伤性脑损伤,发生在许多碰撞和好斗的运动员身上[1]。在美国,估计在2001年至2012年期间发生了342万次SRC急诊就诊[2]。此外,在这些时间点之间也出现了激增,年龄调整率从2001年的每10万人73.1人增加到2012年的每10万人152.0人,增长了108% [2]。鉴于其异质性,经历SRC的个体可能会出现广泛的症状,这些症状有可能损害运动表现并对日常生活产生负面影响[3]。随后,这些症状可能会导致错过运动、工作和学校的时间;生活质量下降;以及医疗保健系统的财政负担增加[4] [5]。最近的研究结果表明,SRC会导致颈椎(CSp)和前庭眼系统功能的暂时性改变[6]-[12]。因此,有人建议将CSp功能、前庭眼球运动筛查(VOMS)和前庭眼球反射(VOR)的测试作为多方面检查的一部分[13]。然而,这些措施的测试可能会在高强度体力消耗后发生变化,这可能导致假阳性结果和/或错误的临床决策。这对运动环境中的测试管理具有重要意义,因为在离开比赛后立即进行评估。少数研究视觉的研究[14]-[23]或VOR [24]函数,20在运动过程中或运动后单独检查了变量。这些产生了矛盾的发现,其中一些人注意到运动后的变化[14] [20] [21] [22];而其他人则证明上述变量保持不变[15] [16] [17] [19]。

因此,本研究的目的是评估高强度体力消耗对大学级碰撞和格斗运动员的CSp、VOMS和VOR测量值的直接影响。如前所述,之前研究这些指标的研究是孤立地使用一些感兴趣的变量进行的。高强度运动后急剧(10~30分钟)。我们假设在高强度体力运动后立即对CSp、VOMS和VOR的评估与运动前的测量结果没有区别。

2. 材料和方法

2.1. 研究设计和参与者

这是一个前瞻性案例系列,其中包括橄榄球和摔跤运动员的样本。该研究得到了当地研究伦理委员会的批准。所有参加的运动员都提供了知情的书面同意。如果个人因受伤(包括当前的SRC)而无法完成体能测试协议,则他们将被排除在参与研究之外。如果运动员在最近一次脑震荡后超过6个月,则包括在内。这项研究是一个更大的项目的一部分,该项目研究了高强度运动对大学格斗和碰撞运动运动员临床评估的影响以及SCAT5的年度稳定性。

2.2. 程序

同意参与该研究的运动员完成了以下运动前评估:运动脑震荡评估工具(SCAT) 5 [4]和CSp、VOR和VOMS评估。CSp电池组由以下测试组成:1) 颈椎活动度(ROM),2) 颈屈肌耐力,3) 颈椎屈曲旋转,4) 左右颈椎前外侧强度测试,以及5) 头部扰动。VOR电池组包括:1) 评估疼痛的数字量表头痛、头晕、颈痛等症状,2) 头部推力试验,3) 动态视力评估。最后,完成了量化版本的VOMS。每个任务的详细描述包含在下面。这些测试由一组训练有素的医疗保健专业人员(医师、住院医师、医学生、物理治疗师和运动治疗师)进行,他们完成了标准化的培训课程并使用了标准的脚本和测试管理协议。在完成预习后的一周内运动测试,同样的运动员完成了30-15间歇性体能测试(IFT) [25]。IFT是球队常规季前体能测试程序的一部分,由同一位体能教练对所有球队进行管理。运动员被要求完成尽可能多的IFT阶段,并在测试停止后立即被引导到四个测试站之一评估CSp、VOMS和VOR功能以及SCAT5。个人随后循环通过每个测试站,直到完成全部测试。每个测试站都有多名训练有素的医疗保健专业人员,测试顺序基于两个时间点的测试站可用性。虽然站点是随机的,但每个临床领域(即CSp、VOMS和VOR)的测试按上述顺序完成。

2.3. 颈椎评估

进行颈椎 ROM 测试是为了确定运动员在屈曲、伸展、右旋、左旋、右侧屈曲和左侧屈曲期间颈椎的 ROM 是否减小[10]。每个颈椎运动都在 100 分中排名。描述了参与者预期 ROM (100%)的程度, 这是由训练有素的医疗保健专业人员观察到的。如果一个人在八个动作中的任何一个中没有得分为 100, 则确定 ROM 降低(阳性结果)。颈屈肌耐力测试是在仰卧钩营位置进行的, 运动员将下巴收起, 将头部抬高至底座上方 2.5 厘米[26]。当参与者由于失去下巴褶皱或头部靠在测试者的手指(位于枕骨下方)上超过一秒钟而无法再保持该位置时, 测试终止[27]。颈椎屈曲旋转测试分离 C1/C2 关节的运动, 以确定个体的寰椎和轴骨之间的 ROM 是否减少[28]。检查者被动地最大程度地弯曲脊柱并向左和向右旋转头部, 直到他们遇到阻力, 或者运动员报告疼痛发作(Hall 等人, 2008 年)。受过训练的医疗保健专业人员如果观察到 ROM (阳性结果)减少到大于 10 的轮换, 则将测试记录为阳性, 这表明高度有效和可靠[29]。使用 Lafayette 手动肌肉测试仪(型号 01163: Lafayette Instrument Co. Lafayette, IN)评估左右颈椎前外侧强度, 其中运动员躺在仰卧位。他们的头部旋转到一个方向的最大旋转位置。该装置被放置在头部的颞区, 在那里向地板施加一个力, 直到运动员无法保持测试位置。这在左侧和右侧重复了 3 次。最后, 进行头部扰动测试, 参与者坐直位置, 以及在前、后、左右侧、前外侧和后外侧八个方向上的一系列三次重复。如果检查员在施加外力时观察到他们的头部出现“晃动”, 则检查员将测试评为阳性[30]。

2.4. 前庭眼球反射评估

数字疼痛评定量表是过去 24 小时内从 0 (无痛)到 10 (可想象的最严重疼痛)的 11 点序数量表。头部推力测试要求运动员专注于一个目标, 并进行 5~10 次不可预测的高加速度旋转运动。如果运动员在每次头部加速期间无法保持对目标的注视, 则为阳性测试[27]。使用早期治疗糖尿病视网膜病变研究(ETDRS)视力表进行动态视力的临床测试, 并要求运动员在头部静止(静态)的情况下背诵最低线, 与 2 Hz 的主动辅助头部运动相比旋转(动态) (2)。记录头旋转丢失的线数。

2.5. 前庭/眼球运动筛选

VOMS 包括对以下各项的评估: 1) 基线症状, 2) 平稳追踪, 3) 水平扫视, 4) 垂直扫视, 5) 近会聚点(NPC), 6) 水平 VOR, 7) 垂直 VOR, 8) 视觉运动敏感性, 以及 9) 视动性眼球震颤(Mucha 等, 2014)。在每项任务之后, 运动员按照 0 (无症状)到 10 (严重)的 11 点顺序量表对头痛、头晕、恶心和雾气的症状进行排名(Mucha 等, 2014)。每个测试的详细描述可以在(Mucha et al., 2014)中找到。对于 NPC 指标, 使用 5 厘米的阈值来确定动眼神经系统的正常与异常收敛能力, 其中食指用作刺激[31]。除了 VOMS 上的 symptom 复制之外, 还完成了 VOMS 的量化版本, 该版本增加了临床医生在测试中观察到的表现以及视动性眼球震颤。

2.6. 统计分析

主要结果是 CSp 的运动前和运动后测试分数, VOMS, 和 VOR 功能。自变量是测试时间(即运动前或运动后评估)。使用 Stata/SE 13.1 (StataCorp, College Station, Texas, United States) [32]和 RStudio (v1.4.1060) [15]进行统计分析。使用 Shapiro-Wilk 检验评估数据的正态性。由于数据中缺乏正态性, Wilcoxon 符号秩检验用于评估顺序变量和连续变量在运动前后的差异。此外, 使用具有 95%一致性限制的 Bland-Altman 图来评估运动前和运动后之间的一致性[24]。然而, 这仅用于连续变量, 当运动前后之间的残差满足通过 Shapiro-Wilk 检验评估的正态分布假设时。描述性统计[例如, 中位数: 四分位距(IQR), 计数(比例)]被用来显示劳累前和劳累后的措施。由于评估组(即 CSp、VOR 和 VOMS)在运动后根据台站

可用性以随机顺序完成,因此根据测试是否在 IFT 后 10 分钟内完成(即刻)或大于 10 分钟(亚急性)对所有测量数据进行分层。此外,如前所述,据报道, SRC 会影响其结果指标[6] [7] [8] [9] [10],但是尚不清楚这些因素对有脑震荡史和无脑震荡史的人有何影响。由于目前的调查没有足够的能力来运行包含临床评估管理时间和脑震荡史的统计模型混淆感兴趣的,分层分析被用来描述自测试以来的时间的测试分数。计算这些数据是为了帮助指导和提供数据,以便在随后的调查中进行先验功效分析。显著性被预先设定为 0.05 的 alpha。然而,多重比较的 Bonferroni 校正后, alpha 设置为 $0.05/8 = 0.0063$ 。

3. 结果

3.1. 参与者人口统计

该研究招募了 111 名男性校队运动员(中位年龄: 17 岁; 范围 16~19 岁)(表 1)。共有 66 名橄榄球运动员(中位年龄: 17 岁; 范围 16~19 岁)和 45 名男子摔跤运动员(中位年龄: 18 岁; 范围 16~19 岁)入选研究(表 1)。共有 63 名(57%)的运动员之前有过脑震荡, 96 名(91%)的运动员以右手为主(表 1)。平均而言, CSp、VOMS 和 VOR 功能测量在停止体能测试后分别进行 10 分钟(范围 1~32)、16 分钟(范围 0~32)和 9 分钟(1~21 分钟)。此外,完成 CSp、VOR 和 VOMS 每个域的中位时间分别为 5 分钟(范围: 3~9)、3 分钟(范围: 2~5)和 3 分钟(范围: 4~11)。

Table 1. Demographics of participants

表 1. 参与者人口统计资料

体育	
摔跤	45 (41%)
橄榄球	66 (59%)
人口统计学	
年龄(年)	17 (16~19)
身高(厘米)	168 (165~172)
体重(公斤)	66 (62~75)
脑震荡史	
有	63 (57%)
无	48 (43%)
右手占主导地位	96 (91%)
曾经脑震荡次数	(0~1)
心理学因素	
偏头痛	15 (14%)
失语症	9 (9%)
注意力缺陷多动症	6 (6%)
抑郁症	3 (3%)
药物治疗	27 (32%)

数据以数字(比例)或中位数(四分位距)表示。百分比(%),厘米(cm),公斤(kg)和注意力缺陷/多动障碍 ADHD)。

3.2. 颈椎功能

在术前和术后颈椎 ROM 减少的个体比例劳力分别为 23% 和 20% ($z = 0.33$; $p = 0.74$) (表 2), 劳累测试前后的颈屈肌耐力评分没有差异($z = -0.316$; $p = 0.75$) (表 2), 锻炼前后颈屈肌耐力的残差呈正态分布 ($W(34) = 0.945$; $p = 0.084$); 其中 Bland-Altman 图平均差异为 0.09 s (95% CI: -5.2, 5.3 s), 95% LOA 为 -29.4 到 29.5 s (图 1)。与预用力相比, 颈椎屈曲旋转测试阳性的个体数量在右侧用力后没有差异($z = 0.00$; $p > 0.99$)或左边的 side ($z = -1.00$; $p = 0.32$) (表 2)。劳力测试后右侧颈椎前外侧强度没有差异($z = -1.49$; $p = 0.14$); 而左侧颈椎前外侧强度在用力后降低($z = -3.87$; $p < 0.001$) (表 2)。右侧($W_{(37)} = 0.975$; $p = 0.604$)和左侧($W(37) = 0.969$; $p = 0.415$)颈椎前外侧强度的残差呈正态分布, 因此可以计算 Bland-Altman 指标。右侧颈椎前外侧强度与 Bland-Altman 图的平均差异在用力后减少了 0.82 磅(95% CI: -0.28, 1.92 磅); 而在左侧, 它减少了 1.77 磅(95% CI: 0.99, 2.55 磅) (表 2)。用于颈椎前外侧强度的 Bland-Altman 图 95% LOA 分别在右侧和左侧为 -5.5 至 7.1 磅(图 2)和 -2.7 至 6.2 磅(图 3)。最后, 所有运动员在两个时间点的头部扰动测试中都获得了 8/8 的分数($z = 0.00$; $p > 0.99$) (表 2)。

Table 2. Cervical spine and vestibulo-ocular reflex function measured in 111 varsity athletes at pre-exertion and following high-intensity exertion testing (30-15 intermittent fitness test)

表 2. 111 名大学运动员在运动前和高强度运动后测量的颈椎和前庭眼反射功能(30-15 间歇性健康测试)

	运动前评分中位数(1QR)/数量(%)			运动后得分中位数(1QR)/数量(%)			检验统计量
	没有上一个浓度	上一个浓度	全部的	没有上一个浓度	上一个浓度	全部的	
颈椎功能							
ROMn (%) 减少 ROM	20%	25%	23%	25%	15%	19%	$z = 0.33$, $p = 0.74$
颈屈肌耐力 (秒)	44 (29~53)	34 (24~37)	36(28~47)	42(32~49)	35 (25~43)	40 (25~49)	$z = 0.30$, $p = 0.77$
颈椎屈曲旋转 试验 n (9%) 阳性	R: 1/16 (6%) L: 0/16 (0%)	R: 1/18 (6%) L: 3/18 (17%)	R: 2/34(6%) L: 3/34(9%)	R: 1/16 (6%) L: 1/16 (6%)	R: 1/19 (5%) L: 0/19 (0%)	R: 2/35 (6%) L: 1/35 (3%)	R: $z = 0.00$. $p > 0.99$
颈椎前外侧 强度(磅)	R: 11.0 (9.2~16.5)	R: 11.6 (9.9~16.0)	R: 11.4 (9.7~165)	R: 11.2 (10.1~12.1)	R: 11.4 (10.4~12.5)	R: 11.3 (10.2~12.2)	L: $z = \sim 1.00$ $p = 0.32$ R: $z = \sim 1.49$, $p = 0.14$ L: $z = 3.87$ $p < 0.001^*$
头部扰动测试 n (9%)达到 8/8, 得分	16/16 (100%)	20/20 (100%)	36/36 (100%)	16/16 (100%)	20/20 (100%)	36/36 (100%)	$z = 0.00$, $p > 0.99$
前庭眼反射 功能	R: 0/16 (0%) L: 0/16 (0%)	R: 0/19 (0%) L: 19 (0%)	R: 0/35 (0%) L: 0/35 (0%)	R: 0/16 (0%) L: 0/16 (0%)	R: 0/19 (0%) L: 0/19 (0%)	R: 0/35 (0%) L: 0/35 (0%)	$z = 0.00$, $p > 0.99$
头部推力测试 n (%)阳性 测试	0.2 (0.1~0.2)	0.2 (0~0.2)	0.2 (0.1~0.2)	0.3 (0.1~0.3)	0.2 (0.1~0.3)	0.3 (0.1~0.3)	$z = \sim 2.78$ $p < 0.001^*$

Continued

动态视力 (logMar)							
数字疼痛 评定量表							
颈部疼痛 (x/10)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~1)	$z = -0.16,$ $p = 0.87$
头痛(x/10)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~0)	0 (0~2)	0 (0~1)	$z = 0.75$ $p = 0.45$
头晕(x/10)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~2)	0 (0~2)	0 (0~2)	$z = -3.55$ $p = 0.004^*$

在 Bonferroni 校正了 $p < 0.0063$ 的先验 alpha 之后, 星号引爆了一个重要的值, 四分位间距(IQR)、数字(n)、厘米(cm)和最小分辨率角的对数(logMar), 百分比(%), 先前(prev), 脑震荡(conc)。

图 1 所示。Bland-Altman 绘图, 比较运动前和运动后颈椎屈肌耐力的 95% 一致性极限[秒(s)] ($n = 35$)。根据运动员在 30-15 间歇体能测试后 10 分钟内(灰色圆圈)或大于 10 分钟(黑色三角形)完成运动后评估, 对数据进行分层。

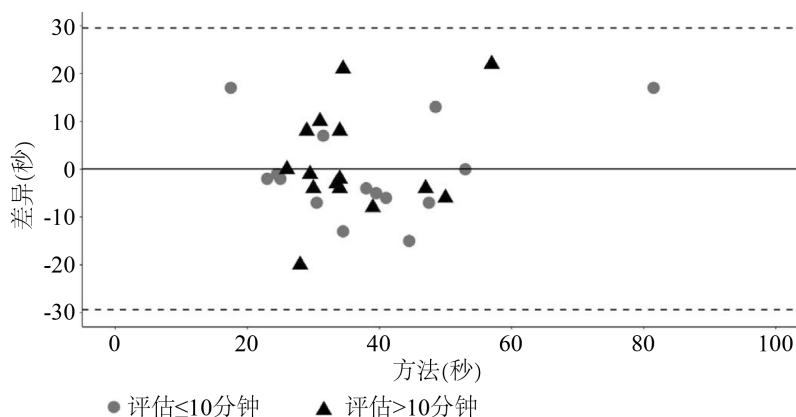


Figure 1. Cervical flexor endurance before and after exertion

图 1. 颈屈肌耐力运动前后

图 2 所示。Bland-Altman 图, 比较运动前和运动后的右颈椎前外侧力量(磅(lbs))符合度 95% ($n = 37$)。根据运动员在 30-15 间歇体能测试后 10 分钟内(灰色圆圈)或大于 10 分钟(黑色三角形)完成运动后评估, 对数据进行分层。

3.3. 前庭眼球反射功能

在运动前和运动后的时间点之间, 所有运动员在左右方向上的头部推力测试均为负($z = 0.00; p > 0.99$) (表 2)。运动测试后, 与运动前相比, 动态视力降低($z = -2.78, p = 0.005$) (表 2)。颈部疼痛($z = -0.16, p = 0.87$)或头痛($z = 0.75, p = 0.45$)评分在运动前后没有差异, 然而, 运动后头晕评分升高($z = -3.55, p = 0.004$) (表 2)。

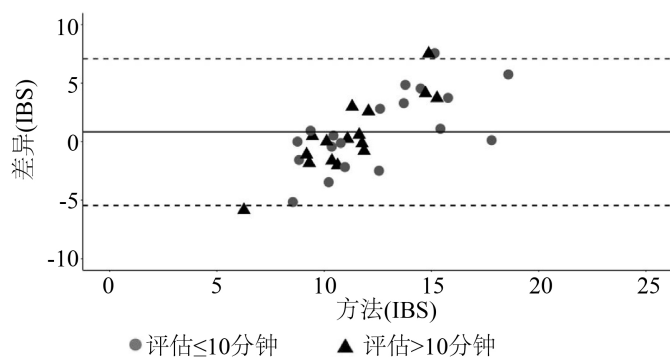


Figure 2. Right cervical anterolateral strength before and after exertion
图 2. 右颈前外侧力量锻炼前后

3.4. 前庭/眼球运动筛查评分

表 3 总结了运动前后症状评分和临床医生观察到的 VOMS 表现。共有 2 名(12%)运动员在运动后症状增加超过 2 分(表 3)。NPC 得分中位数在 Ipre-exertion 条件之间没有差异: 3.0 厘米(IQR: 1.8~3.5 厘米); 运动后: 3.8 厘米(IQR: 2.0~5.0 厘米); ($z = 2.55$; $p = 0.011$) (表 3 和图 4)。NPC 残差满足正常假设($W(15) = 0.927$; $p = 0.244$)。NPC 测量值的 Bland-Altman 图平均差异为 0.90 cm (95% CI: 0.29, 1.51 cm), 95% 的一致性极限为-1.3 至 3.1 cm (图 4) (表 3)。

Table 3. Vestibular/ocular-motor screening measured in 37 varsity athlete's pre-exertion and following high-intensity exertion testing (30-15 intermittent fitness test)

表 3. 在 37 名大学运动员的运动前和高强度运动测试(30-15 间歇性健康测试)后测量的前庭/眼动筛查

测试	运动前			运动后		
	中位数(范围) 症状	激发频率 (2 厘米, 5 厘米 为 NPC 距离)	临床试验 阳性占比	中位数(范围) 症状	激发频率 (2 厘米, 5 厘米 为 NPC 距离)	临床试验 阳性占比
基线	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~		H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)		
平滑的追求	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~	0/16 (0%)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)		2/20 (10%)
水平鞍座	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~	2/16 (13%)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~2) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)		1/20 (5%)
垂直扫视	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~	2/16 (13%)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~2) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)		3/19 (16%)
收敛(NPC 距离 cm)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	>2 cm: 11/16 (69%) >5 cm: 4/16 (25%) 4.0 cm (1.0~7.3 cm)	1/16 (6%)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~2) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)	>2 cm: 11/16 (69%) >5 cm: 2/16 (12%) 3.0 cm (1.2~5.8 cm)	1/16 (6%)

Continued

水平 VOR	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~	0/16 (0%)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~2) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)	0/20 (0%)
垂直 VOR	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~	1/16 (6%)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)	0/20 (0%)
视觉运动 灵敏度	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~	1/16 (6%)	H: 0(0~3) D: 0 (0~2) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)	1/20 (5%)
视动性 眼球震颤	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~0) F: 0 (0~1)	~	3/16 (19%)	H: 0 (0~3) D: 0 (0~3) N: 0 (0~2) F: 0 (0~3)	4/20 (20%)

厘米(cm)、近汇聚点(NPC)、头缩(H)、头晕(D)、恶心(N)、雾霭(F)。

图 3 所示。Bland-Altman 图，左侧颈椎前外侧力量的 95%一致限(磅(Ibs))，比较用力前后(n = 37)。根据运动员在 30-15 间歇体能测试后 10 分钟内(灰色圆圈)或大于 10 分钟(黑色三角形)完成运动后评估，对数据进行分层。

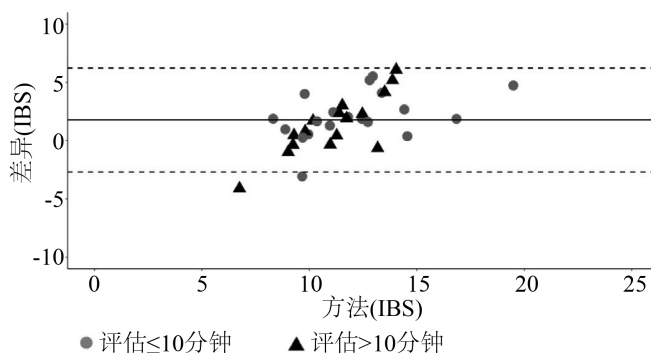


Figure 3. Left cervical anterolateral strength before and after exertion
图 3. 左颈前外侧力量锻炼前后

图 4 所示。Bland-Altman 图，在接近收敛点[厘米(cm)]的 95%一致性极限下比较运动前后(n = 15)。根据运动员在 30-15 间歇体能测试后 10 分钟内(灰色圆圈)或大于 10 分钟(黑色三角形)完成运动后评估，对数据进行分层。

3.5. 从运动到测试管理的时间和脑震荡史

采用描述性分析[中位数：四分位数范围(IQR)，计数(比例)]来探讨脑震荡史(表 2)和运动结束到测试给药之间的时间(表 4)如何影响感兴趣的结果测量。在运动后，受这些协变量影响的唯一指标是颈椎屈肌耐力(表 2 和表 3)，在没有脑震荡史的患者中，试验停止的时间似乎稍长一些[无脑震荡史：42 秒(32~49) vs 脑震荡史：35 秒(25~43)和那些在 < 10 分钟 42 秒[31~39] vs > 10 分钟 35 秒(27~44)](表 2 和表 4)。

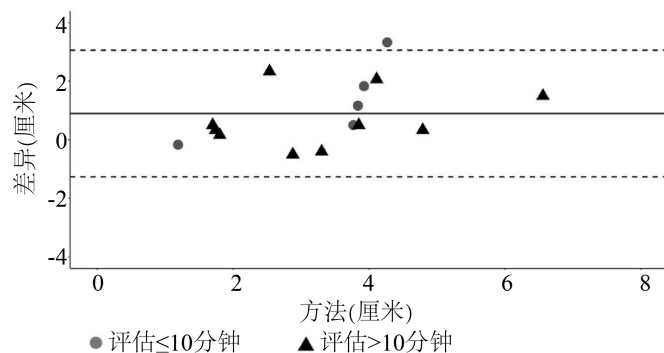


Figure 4. Near point of convergence before and after exertion

图 4. 前后运动收敛点附近

Table 4. Clinical assessments stratified by time to test administration compared to baseline values

表 4. 与基线值相比，按试验给药时间分层的临床评估

	Pre-Exertions	≤10-min	> 10-min
颈椎功能			
ROMn (%)减少 ROM	8/35 (23%)	3/19 (16%)	4/17 (24%)
颈屈肌耐力(秒)	36 (28~47)	42 (31~53)	35 (27~44)
颈椎屈曲旋转试验 n (%)阳性	R: 2/34 (6%) L: 3/34 (9%)	R: 2/18 (11%) L: 0/18 (0%)	R: 0/17 (0%) L: 1/17 (6%)
颈椎前外侧强度(磅)	R: 11.4 (9.7~16.5) L: 12.6 (10.2~15.4)	R: 11.4 (10.2~12.5) L: 10.3 (9.3~11.4)	R: 11.1 (10.2~12.0) L: 10.5 (9.6~11.4)
头部扰动测试 n (%)达到 8/8 分	36/36 (100%)	19/19 (100%)	17/17 (100%)
前底眼反射功能			
头部推力测试 n (%)阳性测试	R: 0/35 (0%) L: 0/35 (0%)	R: 0/20 (0%) L: 0/20 (0%)	R: 0/15 (0%) L: 0/15 (0%)
动态视力(logMar)	0.2 (0.1~0.2)	0.2 (0.1~0.3)	0.3 (0.3~0.3)
数字疼痛评定量表			
颈部疼痛(×/10)	0 (0~1)	1 (0~2)	0 (0~1)
头痛(×/10)	0 (0~1)	0 (0~1)	0 (0~0)
头晕(×/10)	0 (0~1)	1 (0~1)	0 (0~1)
前底/眼球运动功能			
NPC 距离(cm)	4.0 (2.7~5.3)	3.0 (2.7~3.3)	3.1 (1.9~4.3)

值是中位数(四分位距)或数字(比例)。最小分辨率角(logMar)的百分比(%), 数字(n)、厘米(cm)和对数。

4. 讨论

这是第一批客观评估高强度运动对大学运动员 VOR、VOMS 和 CS_p 功能测量影响的研究之一。发现以下措施的变化: 动态视力下降(性能下降), 头晕增加, 左侧颈椎前外侧强度降低(表 2 和表 3)。在任何其他措施上没有显著差异。总体而言, 这些结果表明一些临床副业评估会因高强度运动而改变, 在当

前调查中评估的中位数为 10 分钟(CSp)、9 分钟(VOR)和 16 分钟(VOMS)。例如,头晕、动态视力和颈部力量测试的症状报告可能需要在给药前等待一段时间,以确保测试结果不会因剧烈运动的影响而改变。尽管如此,应该注意的是,运动后的测量时间存在一定程度的可变性(范围:1~32 分钟)。因此,使用脑震荡史和评估时间(≤ 10 分钟和 > 10 分钟)来分层和描述测试结果。虽然目前的调查不足以统计评估自测试以来的时间和以前的脑震荡对这些指标的影响,但似乎受这些指标轻微影响的唯一参数是颈屈肌耐力表现,在运动后立即持续较长时间(≤ 10 -min)和那些没有脑震荡史的人,但是需要进一步评估。

4.1. 与以往研究的比较

如前所述,之前的研究在检查视觉时出现了相互矛盾的发现[14] [15] [16] [19] [20] [21] [22] [23]和 VOR 参数[24]。例如,几项研究发现,马拉松后视觉功能的测量值保持稳定[19];骑自行车、慢跑和爬楼梯[23];以及跑步机步行、蹲下和横向跳跃的组合[16]。相反,汤姆森等人(2009 年)让参与者完成一个决策视觉任务,并比较运动前后的措施。他们发现个人犯了更多的错误,运动后的决策时间减少,表明参与者进行了速度-准确性交易-关闭,因此性能更差[21]。同样,Vera 等人[22]的一项研究让参与者以 60%的心率储备进行 60 分钟的运动,同时参与者间歇性地完成认知任务(详见附件一)。发现同时进行的身体和认知活动的交互作用会损害视觉功能[22]。因此,在运动期间/之后发现变化的视觉研究之间的差异可能归因于这样一个事实,即挑战具有不同压力源(即身体和认知)的动眼神经系统的双重任务会导致比仅施加劳力压力更大的缺陷独立。例如,与独立的串联步态任务相比,严重脑震荡的参与者在也涉及认知任务的串联步态任务中表现出更大的缺陷[25]。这种现象可能是对为什么研究之间存在差异的潜在解释。第二种解释可能是由于使用的方法不同。例如,之前的三项研究使用调节收敛标尺来评估劳累后的 NPC,其中一项发现 NPC 得分增加(功能更差) [26],两项研究发现 NPC 测量没有改变[13]。相反,与收敛标尺相比,本研究使用食指作为刺激。

虽然在运动前和运动后之间没有发现统计学差异,但本研究在 Bonferroni 校正后可能具有 II 类错误 ($p = 0.011$) (表 3),在运动后具有更好的 NPC (较小值)。实验之间自相矛盾的发现可能归因于在每个调查中用于量化 NPC 的不同方法。此外,虽然三项研究使用 ar 调节尺检查了 NPC,但个体在任务期间关注的刺激大小略有不同。因此,似乎需要在研究之间进行标准化,并了解每种刺激的规范值是什么[25]。Millsagle 等人[27]的研究发现,在 30%、60%和 90%心率储备的增量运动期间,骑自行车运动提高了动态视力(较小值)研究结果的差异再次可能源于方法学差异。首先是 Millsagle 等人[24]使用棋盘格评估动态视力,参与者必须口头确定目标位置(20/200),同时越来越多地操纵目标速度。相反,本调查使用了 ETDRS 图表和主动辅助头部以 2 Hz 的速度在每个方向上旋转 20 次[28]。其次,本研究中使用的体能测试(即 30-15 IFT),是一种增量和间歇性测试,允许进行短暂的主动恢复。因此,虽然这不是直接测量的,但它可能使参与者获得比 Millsagle 等人[29]连续方案更大的相对运动强度,这可能导致动态视力结果的差异。

左侧颈椎前外侧屈曲强度的降低可能源于大多数参与者以右手为主(91%)。多项研究发现,在动态活动期间,手优势会改变神经肌肉控制[30]-[35]。此外,Zafar *et al.* (2018)公布的握力虽然不显着,但在头颈部向左旋转时,左右两侧似乎都较低。个体通常用惯用手进行粗大和精细运动活动(即书写、投掷、切割等),因此可能会导致右侧和左侧肌肉力量的差异[36]。总的来说,惯用手和 CSp 强度之间似乎存在一些相互作用,未来的研究应该探索。最后,以前的研究表明,主要脑导管血管对静息时二氧化碳水平的变化有不同的调节(详见附件二) [37],以及中等和高强度运动后的血压和二氧化碳[24]的变化。因此,大脑似乎在不同的位置/结构中受到不同的调节。在本次调查中可能发生了类似的事件,其中颅神经(即动眼神经、前庭耳蜗和副神经)受到会聚性影响,这可以解释为什么有些措施在运动后改变而其他措施没有改

变。然而，需要进一步研究证实这一理论并更好地了解运动后变化的生理基础。

4.2. 对未来研究的影响

先前的调查表明 CSp、VOMS 和 VOR 系统可能会受到脑震荡的影响[6] [7] [8] [9] [10]。本研究发现，运动后症状、动态视力、颈椎前外侧屈曲强度和收敛性均不同。未来的研究有必要在运动后随着时间的推移评估这些措施，以更好地了解他们恢复到运动前措施的时间。此外，运动对特定结果的影响也可能因运动和运动水平而异。因此，需要进一步研究以更好地了解体育特定活动和劳累挑战的影响，以最好地告知在现实世界环境中使用这些措施。还需要进行额外的评估以了解协变量的影响，例如年龄、性别和既往脑震荡史。最后，在运动环境中使用 CSp、VOR 和 VOMS 评估时。临床医生应注意，有些会受到劳累(即动态视力、颈椎前外侧屈曲强度和收敛)的影响，并且评分可能与劳累前状态不同。可能需要在体力活动后至少保持 20 分钟的休息时间才能使测试分数与锻炼前状态相似，类似于 SCAT5 分数变化时所见[38] [39]。然而，如前所述，需要进一步研究以确定在恢复到运动前水平之前所需的确切休息时间。

4.3. 研究局限性

该研究包括总共 111 名男性大学运动员，因此我们可能犯了 II 型错误，并指出对于某些措施在运动前和运动后测试之间没有差异，而实际上存在差异。然而，大多数措施的点估计是相似的，但可变性的措施很广泛。由于团队环境中测试的其他性质，在获取重复数据之前有一段时间(1~32 分钟)的运动后。从理论上讲，随着休息时间的增加，先天的稳态机制可能会导致潜在的全身性假阴性结果。尽管如此，这些措施是在劳累试验后平均 10 分钟(CSp)、16 分钟(VOMS)和 9 分钟(VOR)进行的。此外，我们研究参与者的狭义特征代表了一般运动员人群中的一部分。因此，研究结果的外部有效性和可生成性归因于参加摔跤和橄榄球的大学运动员，可能不适用于其他运动。需要在其他运动和特定运动环境中进行进一步评估。该研究的另一个限制是检查员对测试时间不设盲，由于所评估问题的性质，这在实际中是不可行的(即，临床医生很明显运动员已经完成了一项测试)。劳累试验或处于休息状态)。此外，尽管通过让经验丰富且训练有素的医疗保健提供者管理测试，尽最大努力减少测试协议的评估者间差异，但测试之间存在时间间隔，这可能会增加分数的可变性。最后，对 30-15 体能测试的限制是，虽然它旨在成为接近最大的协议，但未收集心率或其他生理指标来确定是否实现了所需的刺激。

5. 结论

总之，大学格斗和碰撞运动运动员的大多数 CSp、VOMS 和 VOR 测量不受高强度体力消耗的影响。然而，在运动测试后发现，在大学碰撞和好斗运动员中，头晕、动态视力表现下降和左侧前外侧颈椎强度降低的症状报告增加。未来的研究有必要了解运动后潜在变化的神经生理机制。在临床环境中，关于症状报告的评估和动态视力测试、前外侧强度测试和收敛的最小延迟至少约 20 分钟。最后，需要更多的研究来了解上述参数之间的关系，以及这些在运动测试后 SRC 个体的变化以及这些措施恢复到运动前水平的水平的时间。

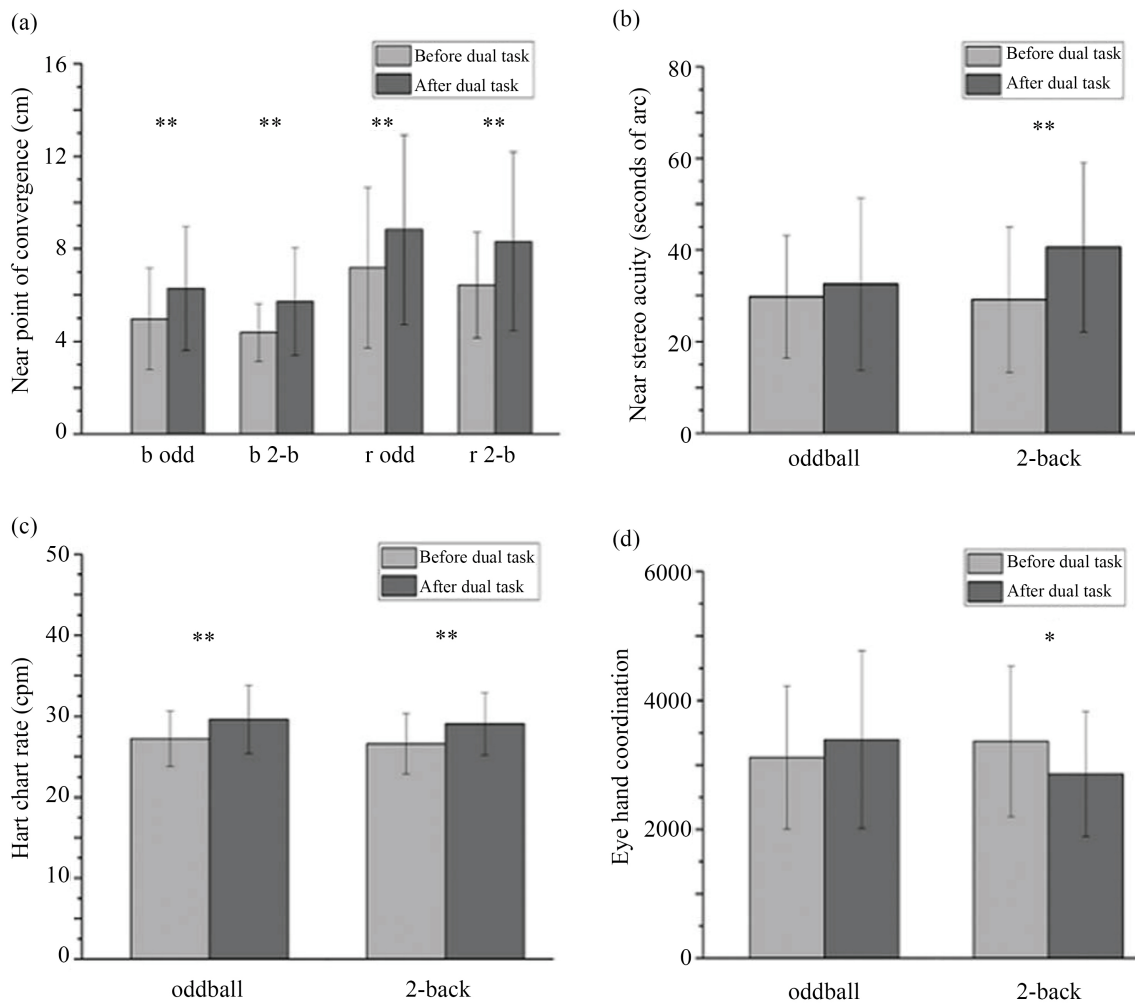
参考文献

- [1] Voss, J.D., Connolly, J., Schwab, K.A. and Scher, A.I. (2015) Update on the Epidemiology of Concussion/Mild Traumatic Brain Injury. *Current Pain and Headache Reports*, **19**, Article No. 32. <https://doi.org/10.1007/s11916-015-0506-z>
- [2] Coronado, V.G., Haileyesus, T., Cheng, T.A., Bell, J.M., Haarbauer-Krupa, J., Lionbarger, M.R., *et al.* (2015) Trends in Sports- and Recreation-Related Traumatic Brain Injuries Treated in Us Emergency Departments: The National Electronic Injury Surveillance System-All Injury Program (NEISS-AIP) 2001-2012. *The Journal of Head Trauma Rehabil-*

- itation, **30**, 185-197. <https://doi.org/10.1097/HTR.000000000000156>
- [3] Voormolen, D.C., Polinder, S., von Steinbuechel, N., Vos, P.E., Cnossen, M.C. and Haagsma, J.A. (2019) The Association between Post-Concussion Symptoms and Health-Related Quality of Life in Patients with Mild Traumatic Brain Injury. *Injury*, **50**, 1068-1074. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.12.002>
 - [4] Echemendia, R.J., Meeuwisse, W., McCrory, P., Davis, G.A., Putukian, M., Leddy, J., et al. (2017) The Sport Concussion Assessment Tool 5th Edition (SCAT5): Background and Rationale. *British Journal of Sports Medicine*, **51**, 848-850. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097506>
 - [5] Fu, T.S., Jing, R., McFaull, S.R. and Cusimano, M.D. (2016) Health & Economic Burden of Traumatic Brain Injury in the Emergency Department. *The Canadian Journal of Neurological Sciences*, **43**, 238-247. <https://doi.org/10.1017/cjn.2015.320>
 - [6] Balasundaram, A.P., Athens, J., Schneiders, A.G., McCrory, P. and Sullivan, S.J. (2017) Do Post-Concussion-Like Symptom Responses Change Following Exercise or Sports Participation in a Non-Concussed Cohort? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, **27**, 2002-2008. <https://doi.org/10.1111/sms.12844>
 - [7] Ellis, M.J., Cordingley, D., Vis, S., Reimer, K., Leiter, J. and Russell, K. (2015) Vestibulo Ocular Dysfunction in Pediatric Sports-Related Concussion. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, **16**, 248-255. <https://doi.org/10.3171/2015.1.PEDS14524>
 - [8] Hoffer, M.E., Gottshall, K.R., Moore, R., Balough, B.J. and Wester, D. (2004) Characterizing and Treating Dizziness after Mild Head Trauma. *Otology & Neurotology*, **25**, 135-138. <https://doi.org/10.1097/00129492-200403000-00009>
 - [9] Mucha, A., Collins, M.W., Elbin, R.J., Furman, J.M., Troutman-Enseki, C., DeWolf, R.M., et al. (2014) A Brief Vestibular/Ocular Motor Screening (VOMS) Assessment to Evaluate Concussions: Preliminary Findings. *The American Journal of Sports Medicine*, **42**, 2479-2486. <https://doi.org/10.1177/0363546514543775>
 - [10] Schneider, K.J., Meeuwisse, W.H., Palacios-Derflingher, L. and Emery, C.A. (2018) Changes in Measures of Cervical Spine Function, Vestibulo-Ocular Reflex, Dynamic Balance, and Divided Attention Following Sport-Related Concussion in Elite Youth Elite Hockey Players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, **48**, 974-981. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.8258>
 - [11] Pearce, K.L., Sufrinko, A., Lau, B.C., Henry, L., Collins, M.W. and Kontos, A.P. (2015) Near Point of Convergence after a Sport-Related Concussion: Measurement Reliability and Relationship to Neurocognitive Impairment and Symptoms. *The American Journal of Sports Medicine*, **43**, 3055-3061. <https://doi.org/10.1177/0363546515606430>
 - [12] Ventura, R.E., Jancuska, J.M., Balcer, L.J. and Galetta, S.L. (2015) Diagnostic Tests for Concussion: Is Vision Part of the Puzzle? *Journal of Neuro-Ophthalmology*, **35**, 73-81. <https://doi.org/10.1097/WNO.0000000000000223>
 - [13] Schneider, K.J. (2019) Concussion—Part I: The Need for a Multifaceted Assessment. *Musculoskeletal Science & Practice*, **42**, 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2019.05.007>
 - [14] Ando, S. (2013) Peripheral Visual Perception during Exercise: Why We Cannot See. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **41**, 87-92. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318259ad37>
 - [15] Burma, J.S., Copeland, P.V., Macaulay, A. and Smirl, J.D. (2021) The Impact of High and Moderate-Intensity Exercise on Near-Point of Convergence Metrics. *Brain Injury*, **35**, 248-254. <https://doi.org/10.1080/02699052.2021.1871953>
 - [16] Eddy, R., Goetschius, J., Hertel, J. and Resch, J. (2018) Test-Retest Reliability and the Effects of Exercise on the King-Devick Test. *Clinical Journal of Sport Medicine*, **30**, 239-244. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000586>
 - [17] Lindsey, J., Cheever, K., Mansell, J.L., Phillips, J. and Tierney, R.T. (2017) Effect of Fatigue on Ocular Motor Assessments. *Athletic Training & Sports Health Care*, **9**, 177-183. <https://doi.org/10.3928/19425864-20170420-03>
 - [18] Matsuki, K., Matsuki, K.O., Mu, S., Yamaguchi, S., Ochiai, N., Sasho, T., et al. (2011) *In Vivo* 3-Dimensional Analysis of Scapular Kinematics: Comparison of Dominant and Nondominant Shoulders. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **20**, 659-665. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2010.09.012>
 - [19] Myers, K.J. (1976) Marathon Running and Vision. *Journal of the American Optometric Association*, **47**, 515-520.
 - [20] Ratka, J., Cheever, K., Mansell, J.L. and Tierney, R.T. (2020) The Effect of an Interval Fatigue Protocol on Vestibular/Ocular Motor Screening (VOMS) Performance. *Brain Injury*, **34**, 110-114. <https://doi.org/10.1080/02699052.2019.1682194>
 - [21] Thomson, K., Watt, A.P. and Liukkonen, J. (2009) Differences in Ball Sports Athletes Speed Discrimination Skills before and after Exercise Induced Fatigue. *Journal of Sports Science and Medicine*, **8**, 259-264.
 - [22] Vera, J., Jimenez, R., García, J.A. and Cardenas, D. (2017) Simultaneous Physical and Mental Effort Alters Visual Function. *Optometry and Vision Science*, **94**, 797-806. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001105>
 - [23] Woods, R.L. and Thomson, W.D. (1995) Effects of Exercise on Aspects of Visual Function. *Ophthalmic and Physiological Optics*, **15**, 5-12. <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.1995.9592786.x>
 - [24] Millslagle, D., DeLaRosby, A. and VonBank, S. (2005) Incremental Exercise in Dynamic Visual Acuity. *Perceptual &*

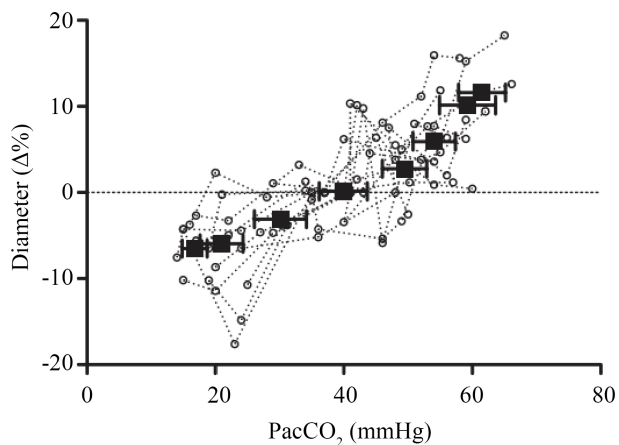
- Motor Skills*, **101**, 657-664. <https://doi.org/10.2466/pms.101.2.657-664>
- [25] Buchheit, M. (2008) The 30-15 Intermittent Fitness Test: Accuracy for Individualizing Interval Training of Young Intermittent Sport Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, **22**, 365-374. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181635b2e>
- [26] Childs, J.D., Cleland, J.A., Elliott, J.M., Teyhen, D.S., Wainner, R.S., Whitman, J.M., et al. (2008) Neck Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, **38**, A1-A34. <https://doi.org/10.2519/jospt.2008.0303>
- [27] Hall, T.M., Robinson, K.W., Fujinawa, O., Akasaka, K. and Pyne, E.A. (2008) Inter-Tester Reliability and Diagnostic Validity of the Cervical Flexion-Rotation Test. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, **31**, 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2008.03.012>
- [28] Schubert, M.C., Tusa, R.J., Grine, L.E. and Herdman, S.J. (2004) Optimizing the Sensitivity of the Head Thrust Test for Identifying Vestibular Hypofunction. *Physical Therapy*, **84**, 151-158. <https://doi.org/10.1093/ptj/84.2.151>
- [29] Scheiman, M., Gallaway, M., Frantz, K.A., Peters, R.J., Hatch, S., Cuff, M., et al. (2003) Nearpoint of Convergence: Test Procedure, Target Selection, and Normative Data. *Optometry and Vision Science*, **80**, 214-225. <https://doi.org/10.1097/00006324-200303000-00011>
- [30] StataCorp (2013) Stata Statistical Software: Release 13. StataCorpLP, College Station.
- [31] R Core Team (2020) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- [32] Bland, J.M. and Altman, D.G. (1986) Statistical Methods for Assessing Agreement between Two Methods of Clinical Measurement. *The Lancet*, **1**, 307-310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)
- [33] Howell, D.R., Osternig, L.R. and Chou, L.S. (2017) Single-Task and Dual-Task Tandem Gait Test Performance after Concussion. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **20**, 622-626. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.020>
- [34] Abraham, N.G., Srinivasan, K. and Thomas, J. (2015) Normative Data for Near Point of Convergence, Accommodation, and Phoria. *Oman Journal of Ophthalmology*, **8**, 14-18. <https://doi.org/10.4103/0974-620X.149856>
- [35] Crosbie, J., Kilbreath, S.L., Hollmann, L. and York, S. (2008) Scapulohumeral Rhythm and Associated Spinal Motion. *Clinical Biomechanics*, **23**, 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.09.012>
- [36] Freitas, S.M. and Scholz, J.P. (2009) Does Hand Dominance Affect the Use of Motor Abundance When Reaching to Uncertain Targets? *Human Movement Science*, **28**, 169-190. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.01.003>
- [37] Willie, C.K., Macleod, D.B., Shaw, A.D., Smith, K.J., Tzeng, Y.C., Eves, N.D., et al. (2012) Regional Brain Blood Flow in Man during Acute Changes in Arterial Blood Gases. *The Journal of Physiology*, **590**, 3261-3275. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.228551>
- [38] Alla, S., Sullivan, S.J., McCrory, P., Schneiders, A.G. and Handcock, P. (2010) Does Exercise Evoke Neurological Symptoms in Healthy Subjects? *Journal of Science and Medicine in Sport*, **13**, 24-26. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.629>
- [39] Susco, T.M., Valovich McLeod, T.C., Gansneder, B.M. and Shultz, S.J. (2004) Balance Recovers within 20 Minutes after Exertion as Measured by the Balance Error Scoring System. *Journal of Athletic Training*, **39**, 241-246.

附件一



同时进行体力和脑力劳动对视觉和知觉运动技能的影响[22]。

附件二



PaCO₂ 稳态变化期间血管管径的变化[37]。