

轻度创伤性脑损伤对眼动参数的长期影响

邓振媛, 江洋琳, 王 雁

引用: 邓振媛, 江洋琳, 王雁. 轻度创伤性脑损伤对眼动参数的长期影响. 国际眼科杂志 2023;23(2):203-207

作者单位: (300020) 中国天津市, 天津医科大学眼科临床学院
天津市眼科医院 天津市眼科学与视觉科学重点实验室

作者简介: 邓振媛, 毕业于天津医科大学, 本科, 住院医师, 研究方向: 眼视光。

通讯作者: 王雁, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 屈光手术、视觉光学. wangyan7143@vip.sina.com

收稿日期: 2022-03-08 修回日期: 2023-01-17

摘要

目的: 评估轻度创伤性脑损伤(mTBI)对眼动参数的长期影响。

方法: 前瞻性研究。收集 2021-02/08 于我院就诊的 mTBI 后 6~12mo 的患者 46 例, 根据脑损伤视觉调查问卷(BIVSS)评分分为 mTBI 有症状组(BIVSS 总分 ≥ 32 分, $n=24$) 和 mTBI 无症状组(BIVSS 总分 < 32 分, $n=22$)。另选取无 mTBI 史的健康志愿者作为对照组($n=23$)。所有受试者均进行眼动参数检查, 评估双眼视功能。

结果: 三组受试者单眼调节幅度、单眼调节灵敏度、近距离水平眼位绝对值、近距离水平融像范围-负融像恢复点、扫视均有差异($P<0.05$), 但集合近点、远距离水平眼位绝对值、近距离水平融像范围-负融像模糊点、正融像模糊点、正融像恢复点均无差异($P>0.05$)。三组受试者调节异常率、集合异常率、扫视异常率均有差异($P<0.01$), 其中 mTBI 有症状组调节异常率显著高于 mTBI 无症状组和对照组(均 $P<0.0167$); mTBI 有症状组和 mTBI 无症状组集合异常率显著高于对照组(均 $P<0.0167$); mTBI 有症状组扫视异常率显著高于 mTBI 无症状组和对照组(均 $P<0.0167$)。

结论: mTBI 有症状患者的调节、集合和扫视功能均降低, mTBI 无症状患者部分视功能也受到影响, 提示 mTBI 对部分患者的眼动参数存在长期影响, 应对 mTBI 患者进行全面的眼动检查。

关键词: 轻度创伤性脑损伤; 眼动参数; 调节; 集合; 扫视; 康复

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.2.04

Long-term impact of mild traumatic brain injury on oculomotor parameters

Zhen-Yuan Deng, Yang-Lin Jiang, Yan Wang

Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University; Tianjin Eye Hospital; Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science, Tianjin 300020, China

Correspondence to: Yan Wang. Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University; Tianjin Eye Hospital; Tianjin Key

Laboratory of Ophthalmology and Visual Science, Tianjin 300020, China. wangyan7143@vip.sina.com

Received: 2022-03-08 Accepted: 2023-01-17

Abstract

• **AIM:** To evaluate the long-term impact of mild traumatic brain injury (mTBI) on oculomotor parameters.

• **METHODS:** Prospective study. A total of 46 patients from 6 to 12mo after mTBI who visited Tianjin Eye Hospital from February to August 2021 were collected. According to the score of the Brain Injury Vision Symptom Survey (BIVSS) Questionnaire, they were divided into the symptomatic group of mTBI (BIVSS total score ≥ 32 , $n=24$) and the asymptomatic group of mTBI (BIVSS total score < 32 , $n=22$). In addition, healthy people without mTBI were selected as the control group ($n=23$). All of the subjects accepted test of oculomotor parameters to evaluate binocular vision.

• **RESULTS:** Monocular accommodation amplitude, monocular accommodation facility, the absolute value of phoria at near, BI recovery point of fusional range at near and saccades were different among the three groups ($P<0.05$); There were no significant differences in near point of convergence, the absolute value of distance phoria, BI blur, BO blur and recovery of fusional range at near among the three groups ($P>0.05$). The incidence of accommodative abnormality, convergence abnormality, and saccadic dysfunction were different among the three groups ($P<0.01$). The incidence of accommodative abnormality in the symptomatic group was significantly higher than that in the asymptomatic and control groups (all $P<0.0167$); the incidence of convergence dysfunction in the symptomatic and the asymptomatic groups were higher than that in the control group (all $P<0.0167$); the incidence of saccadic dysfunction in the symptomatic group was significantly higher than that in the asymptomatic and control groups (all $P<0.0167$).

• **CONCLUSION:** Accommodation, convergence, and saccades functions in the mTBI symptomatic group were lower, and some of the binocular vision in the asymptomatic group was also affected. It is suggested that mTBI has a long-term impact on oculomotor parameters, and comprehensive oculomotor assessment is necessary for mTBI patients.

• **KEYWORDS:** mild traumatic brain injury; oculomotor parameters; accommodation; convergence; saccades; rehabilitation

Citation: Deng ZY, Jiang YL, Wang Y. Long-term impact of mild traumatic brain injury on oculomotor parameters. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(2):203-207

0 引言

轻度创伤性脑损伤(mild traumatic brain injury, mTBI)是创伤性脑损伤中最常见的类型^[1]。急性期 mTBI 患者中 90%会出现眼动参数异常^[2],其中以调节异常、集合不足及扫视异常最为常见^[2-3]。表现为调节幅度和单眼调节灵敏度下降^[4]、近距离外隐斜、融像范围降低、集合近点(NPC)远移^[5]及扫视准确度下降^[6]。视觉症状包括阅读困难、视物模糊、复视、视疲劳等^[7]。现有对 mTBI 慢性期的研究中,主要针对存在视觉症状的患者进行眼动参数的检查与评估,并通过调查问卷的方式研究视觉症状对其工作和生活的影响,虽然能够在一定程度上反应 mTBI 对视觉功能的长期影响,但却忽略了无症状患者的视觉康复情况。本研究通过对 mTBI 后 6~12mo 有症状、无症状患者与正常人群分别进行调节、集合和扫视功能检查,评估 mTBI 对眼动参数的长期影响。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性研究。收集 2021-02/08 于我院就诊的 mTBI 患者 46 例,其中男 26 例,女 20 例;年龄 20~39(平均 27.80±4.73)岁。纳入标准:(1)年龄 18~40 岁;(2)确诊为 mTBI 后 6~12mo。排除标准:(1)无法配合完成双眼视功能检查者;(2)既往接受过异常双眼视功能的处理或视觉训练;(3)斜视、屈光参差、弱视、青光眼病史;(4)存在其他可能影响双眼视功能的脑部问题。另选取同期在我院进行健康体检的志愿者 23 例作为对照组,年龄 22~32(平均 27.48±3.54)岁。纳入标准:(1)年龄 18~40 岁;(2)无 mTBI 病史。排除标准:(1)本研究进行的屈光检查结果与既往屈光检查屈光度差异>0.50D;(2)存在明显的视觉症状;(3)具有斜视、屈光参差、弱视或其他眼病史;(4)存在全身性疾病。本研究获得我院伦理委员会批准,所有受试者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 视觉症状分析 mTBI 患者使用 Laukkanen 设计的脑损伤视觉调查问卷(BIVSS)^[8]进行视觉症状评分,问卷涵盖 8 种与 mTBI 相关的视觉症状,根据症状发生频率分为 5 个等级(0 分-从未发生,1 分-很少,2 分-偶尔,3 分-频繁,4 分-总是)。纳入的 mTBI 患者均填写问卷,以 BIVSS 总分 32 分为临界值,≥32 分为有症状,<32 分为无症状。

1.2.2 眼动参数测量及视功能分析 所有受试者均使用综合验光仪进行屈光检查,达到最佳视力最大正镜化光度,并通过 von Graefe 法测量远/近距离水平眼位,使用旋转棱镜测定近距离水平融像范围,通过负镜片法测量单眼调节幅度,通过±2.00D 球镜反转拍检测单眼调节灵敏度,通过将近距离调节视标移近测量集合近点,通过 Adult-DEM 测量扫视功能,计算水平/垂直(H/V)比值。

双眼视功能异常的诊断标准^[9]:(1)调节不足:1)调节幅度低于年龄相关最小调节幅度,即 15-0.25×年龄;2)单眼调节灵敏度≤6cpm。(2)集合不足:集合近点破裂点≥6cm,同时满足以下条件中的任意一项:1)近距离外隐斜至少大于远距 4^Δ;2)近距离融像范围正融像性集合降低。(3)集合过度:1)近距离内隐斜≥3^Δ;2)近距离融像范围负融像性集合降低。(4)扫视异常:H/V 比值较正常值(1.04±0.10)低 1SD。

统计学分析:采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量资料均进行正态性检验,不符合正态分布采用中位数(四分位间距)表示,两组间比较采用 Mann-Whitney U 检

验;三组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,两两比较时采用 Bonferroni 校正法(检验水准 $\alpha = 0.0167$)。计数资料采用 $n(\%)$ 表示,三组间比较采用 χ^2 检验,若差异有统计学意义则进一步两两比较采用连续校正卡方检验(检验水准 $\alpha = 0.0167$)。调查问卷的信度和效度分别采用 Cronbach α 系数和验证性因子分析(CFA)进行评估。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 BIVSS 问卷信度和效度分析

2.1.1 信度分析 采用 Cronbach α 系数的大小衡量调查问卷的信度,8 个维度的信度系数均大于 0.7,表明本研究使用的量表可信度较高,具有良好的内部一致性。

2.1.2 效度分析 采用 CFA 检验调查问卷的效度,CFA 模型与量表数据匹配状况非常好。评估该量表的收敛效度发现,量表中 28 个题项的因素负荷量均高于 0.5,表明 28 个题项均具有效度。量表的 8 个维度的组合信度(C.R.)均高于 0.6,且 8 个维度的平均方差抽取量(AVE)均高于 0.5,表明 8 个维度具有较好的聚合效度。上述结果表明该量表具有较好的效度。

2.2 mTBI 患者视觉症状分析 以 BIVSS 总分 32 分为临界值,将纳入的 mTBI 患者分为 mTBI 有症状组(BIVSS 总分 ≥32 分, $n = 24$)和 mTBI 无症状组(BIVSS 总分 <32 分, $n = 22$)。mTBI 有症状组患者视觉清晰度、视觉舒适度、复视、畏光、深度感知、周边视觉和阅读相关视觉症状评分及问卷调查总分均高于 mTBI 无症状组,差异均有统计学意义($P < 0.05$),但两组患者干眼评分差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

2.3 mTBI 患者眼动参数分析 三组受试者单眼调节幅度、单眼调节灵敏度、近距离水平眼位绝对值、近距离水平融像范围-负融像恢复点、扫视差异均有统计学意义($P < 0.05$),但集合近点、远距离水平眼位绝对值、近距离水平融像范围-负融像模糊点、正融像模糊点、正融像恢复点差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表 2。

2.3.1 调节幅度 mTBI 有症状组右眼调节幅度显著低于 mTBI 无症状组和对照组(均 $P < 0.0167$),但 mTBI 无症状组右眼调节幅度与对照组差异无统计学意义($P = 0.123$);mTBI 有症状组和 mTBI 无症状组左眼调节幅度显著低于对照组(均 $P < 0.0167$),且 mTBI 有症状组和 mTBI 无症状组左眼调节幅度差异无统计学意义($P = 0.194$)。但是, mTBI 无症状组调节幅度已达到正常值,即年龄相关最小调节幅度(15-0.25×年龄),而 mTBI 有症状组调节幅度则低于正常值。

2.3.2 调节灵敏度 mTBI 有症状组和 mTBI 无症状组双眼调节灵敏度均明显低于对照组($P < 0.0167$),但 mTBI 有症状组和 mTBI 无症状组双眼调节灵敏度差异无统计学意义($P = 0.765, 0.069$)。

2.3.3 近距离水平眼位绝对值 mTBI 有症状组近距离水平眼位绝对值显著大于对照组($P < 0.0167$),而 mTBI 无症状组近距离水平眼位绝对值与 mTBI 有症状组和对照组差异无统计学意义($P = 0.122, 0.035$)。

2.3.4 近距离水平融像范围-负融像恢复点 mTBI 有症状组近距离水平融像范围-负融像恢复点显著小于 mTBI 无症状组和对照组(均 $P < 0.0167$),但 mTBI 无症状组近距离水平融像范围-负融像恢复点与对照组差异无统计学意义($P = 0.872$)。

表1 mTBI患者视觉症状分析

[M(P₂₅,P₇₅),分]

视觉症状	mTBI 有症状组 (n=24)	mTBI 无症状组 (n=22)	Z	P
视觉清晰度	1.25(0.63,2.00)	0.50(0.00,0.75)	-3.743	<0.001
视觉舒适度	2.00(1.06,2.25)	1.00(0.25,1.5)	-3.087	0.002
复视	1.00(0.67,1.67)	0.00(0.00,0.33)	-5.157	<0.001
畏光	2.00(1.00,2.33)	0.67(0.00,0.67)	-4.536	<0.001
干眼	1.33(1.00,2.00)	1.33(1.00,1.75)	-0.402	0.688
深度感知	1.00(0.75,1.92)	0.00(0.00,0.67)	-4.792	<0.001
周边视觉	1.50(0.75,2.25)	0.00(0.00,0.00)	-5.944	<0.001
阅读	1.80(1.40,2.20)	0.60(0.20,0.80)	-5.407	<0.001
总分	41.00(32.00,51.75)	18.00(12.50,22.00)	-5.82	<0.001

注:mTBI 有症状组:BIVSS 总分≥32分;mTBI 无症状组:BIVSS 总分<32分。

表2 mTBI患者眼动参数分析

M(P₂₅,P₇₅)

眼动参数	mTBI 有症状组 (n=24)	mTBI 无症状组 (n=22)	对照组 (n=23)	χ ²	P
调节幅度(D)					
OD	4.63(2.88,7.50)	7.75(5.25,9.75) ^a	8.00(7.25,10.00) ^a	19.11	<0.001
OS	5.13(3.63,7.44)	7.13(4.19,7.75)	8.50(7.00,10.00) ^{a,c}	21.64	<0.001
调节灵敏度(cpm)					
OD	7.00(0.00,10.00)	8.00(4.00,10.00)	12.00(10.00,12.00) ^{a,c}	34.68	<0.001
OS	7.00(0.00,10.00)	8.00(4.00,10.00)	12.00(10.00,12.00) ^{a,c}	34.68	<0.001
集合近点(cm)	6.50(5.00,7.93)	7.50(5.00,10.00)	6.00(5.00,7.50)	2.02	0.364
眼位(Δ)					
远距水平眼位绝对值	3.00(2.00,3.75)	3.00(1.00,4.00)	2.00(1.00,3.00)	1.38	0.503
近距水平眼位绝对值	6.00(6.00,9.50)	6.00(3.00,9.00)	4.00(2.00,6.00) ^a	13.89	0.001
近距水平融像范围(Δ)					
负融像模糊点	18.00(12.50,21.50)	18.00(16.00,28.00)	22.00(17.00,25.00)	4.04	0.133
负融像恢复点	8.00(6.00,12.75)	13.00(10.00,18.00) ^a	14.00(10.00,18.00) ^a	9.63	0.008
正融像模糊点	24.00(18.50,29.00)	23.00(20.00,30.00)	21.00(16.00,30.00)	0.01	0.996
正融像恢复点	12.00(8.25,22.00)	10.00(0.00,16.00)	12.00(6.00,17.00)	2.62	0.270
扫视(H/V)	1.08(1.03,1.12)	1.00(0.97,1.03) ^a	0.93(0.91,1.00) ^{a,c}	34.85	<0.001

注:mTBI 有症状组:BIVSS 总分≥32分;mTBI 无症状组:BIVSS 总分<32分;对照组:无 mTBI 病史的健康志愿者。OD:右眼;OS:左眼。^aP<0.0167 vs mTBI 有症状组;^cP<0.0167 vs mTBI 无症状组。

2.3.5 扫视 三组之间 H/V 比值两两比较差异均有统计学意义(P<0.0167),其中对照组 H/V 比值最小,mTBI 有症状组最大。

2.4 mTBI 患者视功能分析 三组调节异常率、集合异常率、扫视异常率差异有统计学意义(χ² = 20.966、21.713、13.669,均 P<0.01),其中 mTBI 有症状组调节异常率显著高于 mTBI 无症状组和对照组(χ² = 10.98、16.703,均 P<0.0167);mTBI 有症状组和 mTBI 无症状组集合异常率显著高于对照组(χ² = 15.679、11.844,均 P<0.0167);mTBI 有症状组扫视异常率显著高于 mTBI 无症状组和对照组(χ² = 7.769、10.434,均 P<0.0167),见表3。

3 讨论

mTBI 被认为是由外伤造成的脑生理功能紊乱^[10],当发展为慢性时,其致残程度与重度脑损伤接近^[11]。大脑中约 50%的大脑回路与视觉相关^[12],且大脑的 12 对颅神经中 6 对涉及视觉和视觉信息处理^[13]。本研究中,mTBI 有症状组在视觉清晰度、视觉舒适度、复视、畏光、深度感知、周边视觉和阅读等方面出现症状,这些与眼动异常有关^[14]。本研究纳入的 mTBI 有症状组患者调节不足发生率为 67%,集合不足发生率为 42%,集合过度发生率为 33%,扫视异常率

表3 mTBI患者视功能分析

例(%)

视功能	mTBI 有症状组 (n=24)	mTBI 无症状组 (n=22)	对照组 (n=23)
调节功能			
调节不足	16(67)	4(18)	2(9)
正常	8(33)	18(82)	21(91)
集合功能			
异常	18(75)	14(64)	4(18)
集合不足	10(42)	12(55)	2(9)
集合过度	8(33)	2(9)	2(9)
正常	6(25)	8(36)	19(82)
扫视功能			
异常	14(58)	4(18)	3(13)
正常	10(42)	18(82)	20(87)

注:mTBI 有症状组:BIVSS 总分≥32分;mTBI 无症状组:BIVSS 总分<32分;对照组:无 mTBI 病史的健康志愿者。

为 58%。Tyler 等^[15]研究也得出相同结论,即出现持续症状的 mTBI 患者均有并发的眼动功能障碍。此外,本研究中 mTBI 无症状组患者集合不足发生率为 55%。

调节是由视网膜上的模糊像引起的,当模糊影像传入大脑后,经过视皮层、顶颞叶、小脑、中脑的处理,最终通过动眼神经支配睫状肌^[4],从而引起晶状体表面曲率,特别是前表面曲率发生改变的过程^[16]。本研究发现,mTBI有症状组患者单眼调节幅度和调节灵敏度均显著低于对照组,mTBI无症状组患者主要表现为单眼调节灵敏度下降。Master等^[17]对mTBI的研究发现调节能力下降预示需要更长的恢复时间。调节幅度反应眼睛具有的最大调节力,当调节幅度小于年龄相关性最小调节幅度时,会出现视近模糊、视疲劳和阅读困难等症状^[2]。Master等^[9]报道,51%的mTBI患者调节幅度低于年龄匹配的标准值。调节灵敏度属于动态调节,反应调节在两种状态下的切换速度。调节灵敏度下降会造成远距和近距注视目标切换时的清晰速度变慢。对于mTBI无症状患者,单眼调节灵敏度下降未出现相关症状。Chen等^[18]报道,视觉症状与双眼调节灵敏度呈负相关,而与单眼调节灵敏度无相关性。也可能是由于mTBI后视觉反应时间变长^[19],从而造成对清晰滞后的认知不足。此外,人眼的调节作用还伴随着集合和瞳孔缩小的变化,被称为视近反射^[20]。对于mTBI有症状的患者,当调节幅度下降时,会影响瞳孔的缩小,从而出现畏光的症状。

本研究显示,mTBI有症状组患者集合不足发生率与对照组存在显著差异。集合不足表现为近距水平眼位为较大外隐斜。功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)显示,mTBI患者在进行集合任务时,大脑3个区域即左后舌回、双侧前舌回和海马旁回的活动降低及血流信号减少^[21]。这些区域同时参与视觉加工、阅读理解、空间定位和导航及空间工作记忆等过程^[22],导致出现阅读困难及深度知觉的问题。本研究中,mTBI无症状组患者集合不足发生率也高于对照组,其可能原因是当眼位量过大时,双眼的融像难以维持,容易出现近距离间歇性抑制,如同近距离间歇性外斜视,从而掩盖了症状^[23]。本研究纳入的mTBI有症状患者中33%诊断为集合过度,其特征为近距离内隐斜,这与Jorge等^[24]报道的在运动员mTBI人群中内隐斜较为常见的结果一致。本研究发现,mTBI有症状组患者出现近距水平融像范围-负融像恢复点降低。融像性集合能够使双眼对齐,从而提供清晰的单一视觉。受损的融像性集合导致双眼视觉不稳定,在阅读时可能出现串行、模糊甚至重影。Hellerstein等^[25]报道融像性集合障碍在mTBI患者中更为常见。此外,本研究中mTBI有症状组和mTBI无症状组患者集合近点均未显示出异常,这可能与mTBI急性期集合近点会出现显著后退,但随着时间的推移会逐渐恢复有关^[26]。另有研究发现,mTBI患者在fMRI表现出的大脑功能区活动减弱与集合近点无相关性^[21],也说明了其恢复的可能性。

扫视是将眼睛从一个注视目标快速转移到另一个注视目标的过程,大脑中扫视控制涉及了额顶膜回路和皮质下细胞核的通路^[27]。扫视受一系列认知和运动过程的影响,不同方向的视觉刺激需要在特定的大脑区域产生扫视。Adult-DEM是被认为可用于对mTBI患者进行扫视功能测试的一种临床检查方法^[28],其需要分别记录水平方向和垂直方向快速阅读数字的时间,然后计算水平时间/垂直时间的比值,并记录阅读过程中的错误量。本研究中,mTBI有症状组患者表现出Adult-DEM H/V比值高

于对照组,说明水平扫视需要更长时间,分析可能是因为mTBI导致扫视的潜时延长或准确度下降^[29],从而导致在测试时需要做出更多次扫视^[30]。既往研究发现,存在扫视功能异常的mTBI患者需要更长的康复时间^[31]。本研究显示,mTBI无症状组患者H/V比值也高于对照组,但未出现明显的扫视异常,在大部分的视觉任务中,通常会同时使用集合和扫视功能,以确保影像可以落在中心凹上,mTBI无症状组患者集合功能异常可能会导致扫视功能的表现,同时注意力和信息处理的缺陷同样可能导致扫视速度下降^[30]。

综上所述,mTBI有症状患者的调节、集合和扫视功能均降低,mTBI无症状患者部分视功能也受到影响,因此临床工作中可通过全面的眼动参数检查,结合患者病史进行准确诊断。

参考文献

- 1 Control National Center For Injury. Report to Congress on Mild Traumatic Brain Injury in the United States; Steps to Prevent a Serious Public Health Problem. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention 2003
- 2 Wiecek EK, Roberts TL, Shah AS, et al. Vergence, accommodation, and visual tracking in children and adolescents evaluated in a multidisciplinary concussion clinic. *Vision Res* 2021; 184: 30-36
- 3 Merezhinskaya N, Mallia RK, Park D, et al. Visual deficits and dysfunctions associated with traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Optom Vis Sci* 2019; 96(8): 542-555
- 4 Green W, Ciuffreda KJ, Thiagarajan P, et al. Accommodation in mild traumatic brain injury. *J Rehabil Res Dev* 2010; 47(3): 183-199
- 5 Capó - Aponte JE, Urosevich TG, Temme LA, et al. Visual dysfunctions and symptoms during the subacute stage of blast-induced mild traumatic brain injury. *Mil Med* 2012; 177(7): 804-813
- 6 Cifu DX, Wares JR, Hoke KW, et al. Differential eye movements in mild traumatic brain injury versus normal controls. *J Head Trauma Rehabil* 2015; 30(1): 21-28
- 7 Hartvigsen J, Boyle E, Cassidy JD, et al. Mild traumatic brain injury after motor vehicle collisions: what are the symptoms and who treats them? A population-based 1-year inception cohort study. *Arch Phys Med Rehabil* 2014; 95(3): S286-S294
- 8 Laukkanen H, Scheiman M, Hayes JR. Brain injury vision symptom survey (BIVSS) questionnaire. *Optom Vis Sci* 2017; 94(1): 43-50
- 9 Master CL, Scheiman M, Gallaway M, et al. Vision diagnoses are common after concussion in adolescents. *Clin Pediatr (Phila)* 2016; 55(3): 260-267
- 10 Hunt AW, Mah K, Reed N, et al. Oculomotor - based vision assessment in mild traumatic brain injury: a systematic review. *J Head Trauma Rehabil* 2016; 4(31): 252-261
- 11 Brooks JC, Shavelle RM, Strauss DJ, et al. Life expectancy of 1-year survivors of traumatic brain injury, 1988-2019; updated results from the TBI model systems. *Arch Phys Med Rehabil* 2022; 103(1): 176-179
- 12 Sabel BA, Thut G, Haueisen J, et al. Vision modulation, plasticity and restoration using non - invasive brain stimulation - An IFCN - sponsored review. *Clin Neurophysiol* 2020; 131(4): 887-911
- 13 Suter PS, Harvey LH. Vision rehabilitation: Multidisciplinary care of the patient following brain injury. New York: CRC Press 2011; 62-63
- 14 Thiagarajan P, Ciuffreda KJ. Effect of oculomotor rehabilitation on accommodative responsivity in mild traumatic brain injury. *J Rehabil Res Dev* 2014; 51(2): 175-192
- 15 Tyler CW, Likova LT, Mineff KN, et al. Deficits in the activation of human oculomotor nuclei in chronic traumatic brain injury. *Front Neurol* 2015; 6: 173

- 16 Charman WN, Radhakrishnan H. Accommodation, pupil diameter and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt* 2009; 29(1): 72-79
- 17 Master CL, Master SR, Wiebe DJ, et al. Vision and vestibular system dysfunction predicts prolonged concussion recovery in children. *Clin J Sport Med* 2018; 28(2): 139-145
- 18 Chen N, Liao M, Yang CH, et al. Accommodation and stereopsis in adults with traumatic brain injury. *Clin Exp Optom* 2020; 103(6): 877-884
- 19 Piponnier JC, Forget R, Gagnon I, et al. First- and second-order stimuli reaction time measures are highly sensitive to mild traumatic brain injuries. *J Neurotrauma* 2016; 33(2): 242-253
- 20 Shukla Y. Accommodative anomalies in children. *Indian J Ophthalmol* 2020; 68(8): 1520-1525
- 21 Rockswold SB, Burton PC, Chang A, et al. Functional magnetic resonance imaging and oculomotor dysfunction in mild traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 2019; 36(7): 1099-1105
- 22 London R. Eye movement basics for the clinician. *Optom Vis Sci* 1997; 74(7): 471
- 23 Serrano - Pedraza I, Clarke MP, Read JCA. Single vision during ocular deviation in intermittent exotropia. *Ophthalmic Physiol Opt* 2011; 31(1): 45-55
- 24 Jorge J, Diaz - Rey A, Lira M. Prevalence of binocular vision dysfunctions in professional football players. *Clin Exp Optom* 2022; 105(8): 853-859
- 25 Hellerstein LF, Freed S, Maples WC. Vision profile of patients with mild brain injury. *J Am Optom Assoc* 1995; 66(10): 634-639
- 26 Matusciene G, Johansson J, Möller M, et al. Longitudinal changes in oculomotor function in young adults with mild traumatic brain injury in Sweden: an exploratory prospective observational study. *BMJ Open* 2018; 8(2): e018734
- 27 White OB, Fielding J. Cognition and eye movements: assessment of cerebral dysfunction. *J Neuroophthalmol* 2012; 3(32): 266-273
- 28 Kapoor N, Ciuffreda KJ. Assessment of neuro - optometric rehabilitation using the Developmental Eye Movement (DEM) test in adults with acquired brain injury. *J Optom* 2018; 11(2): 103-112
- 29 Crevits L, Hanse MC, Tummers P, et al. Antisaccades and remembered saccades in mild traumatic brain injury. *J Neurol* 2000; 247(3): 179-182
- 30 Rizzo JR, Hudson TE, Dai WW, et al. Rapid number Naming in chronic concussion: eye movements in the King-Devick test. *Ann Clin Transl Neurol* 2016; 3(10): 801-811
- 31 Heitger MH, Anderson TJ, Jones RD, et al. Eye movement and visuomotor arm movement deficits following mild closed head injury. *Brain* 2004; 127(Pt 3): 575-590