

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

Exploring the possibilities of an artificial intelligence program in the diagnosis of macular diseases

Margarita R. Khabazova¹, Elena N. Ponomareva¹, Igor A. Loskutov², Evgenia A. Katalevskaya³, Aleksandr Yu. Sizov^{3, 4}, Georgy M. Gabaraev¹

¹ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russia;

² Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia;

³ Digital Vision Solutions LLC, Moscow, Russia;

⁴ Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Macular diseases are a large group of pathological conditions that cause vision loss and visual impairment. Early diagnosis of such changes plays an important role in treatment selection and is one of the crucial factors in predicting outcomes.

AIM: To examine the potential of an artificial intelligence program in the diagnosis of macular diseases using structural optical coherence tomography scans.

MATERIALS AND METHODS: The study included patients examined and treated at the Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies and Moscow Regional Research and Clinical Institute. In total, 200 eyes with macular diseases were examined, as well as eyes without macular pathologies. A comparative clinical analysis of structural optical coherence tomography scans obtained using an RTVue XR 110-2 tomograph was conducted. The Retina.AI software was used to analyze optical coherence tomography scans.

RESULTS: In the analysis of optical coherence tomography scans using Retina.AI, various pathological structures of the macula were identified, and a probable pathology was then determined. The results were compared with the diagnoses made by ophthalmologists. The sensitivity, specificity, and accuracy of the method were 95.16%, 97.76%, and 97.38%, respectively.

CONCLUSION: Retina.AI allows ophthalmologists to automatically analyze optical coherence tomography scans and identify various pathological conditions of the fundus.

Keywords: optical coherence tomography; artificial intelligence; diagnosis; macular edema; age-related macular degeneration.

To cite this article:

Khabazova MR, Ponomareva EN, Loskutov IA, Katalevskaya EA, Sizov AYU, Gabaraev GM. Exploring the possibilities of an artificial intelligence program in the diagnosis of macular diseases. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):17–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

Submitted: 30.11.2023

Accepted: 02.02.2024

Published online: 11.03.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

Изучение возможностей программы искусственного интеллекта в диагностике заболеваний макулярной области

М.Р. Хабазова¹, Е.Н. Пономарева¹, И.А. Лоскутов², Е.А. Каталевская³,
А.Ю. Сизов^{3, 4}, Г.М. Габараев¹

¹ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Москва, Россия;

² Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Москва, Россия;

³ ООО «Диджитал Вижн Солюшнс», Москва, Россия;

⁴ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Заболевания макулярной области представляют собой большую группу патологических состояний, приводящих к потере зрения и слабовидению. Ранняя диагностика таких изменений играет большую роль в выборе тактики лечения и является одной из определяющих в прогнозировании результатов.

Цель — изучить возможности программы искусственного интеллекта в диагностике заболеваний макулярной области на основе анализа сканов структурной оптической когерентной томографии.

Материалы и методы. В исследование были включены пациенты, проходившие обследование и лечение в Федеральном научно-клиническом центре специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий и Московского областного научно-исследовательского клинического института им. М.Ф. Владимирского. Обследовано 200 глаз с заболеваниями макулярной области, а также глаза без макулярной патологии. Проведён сравнительный клинический анализ сканов структурной оптической когерентной томографии, выполненных на офтальмологическом томографе RTVue XR 110-2. Для анализа сканов оптической когерентной томографии использовалось программное обеспечение Retina.AI.

Результаты. В ходе анализа сканов оптической когерентной томографии с помощью программы были выявлены различные патологические структуры макулярной области, а затем сформулировано заключение о вероятной патологии. Полученные результаты сравнивались с заключениями врачей-офтальмологов. Чувствительность метода составила 95,16%; специфичность — 97,76%; точность — 97,38%.

Заключение. Платформа Retina.AI позволяет офтальмологам успешно проводить автоматизированный анализ сканов структурной оптической когерентной томографии и выявлять различные патологические состояния глазного дна.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография; искусственный интеллект; витреомакулярный интерфейс; диагностика; диабетический макулярный отёк; возрастная макулярная дегенерация.

Как цитировать:

Хабазова М.Р., Пономарева Е.Н., Лоскутов И.А., Каталевская Е.А., Сизов А.Ю., Габараев Г.М. Изучение возможностей программы искусственного интеллекта в диагностике заболеваний макулярной области // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 1. С. 17–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

人工智能程序在黄斑疾病诊断中的可行性研究

Margarita R. Khabazova¹, Elena N. Ponomareva¹, Igor A. Loskutov²,
Evgenia A. Katalevskaya³, Aleksandr Yu. Sizov^{3,4}, Georgy M. Gabaraev¹

¹ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russia;

² Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia;

³ Digital Vision Solutions LLC, Moscow, Russia;

⁴ Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

摘要

论证。黄斑疾病是一大类病症。它们会导致视力丧失和视力低下。对这些病变的早期诊断对治疗策略的选择起着重要作用，它是疗效预测的决定性因素之一。

目的。本研究的目的是研究人工智能程序在基于对结构光学相干断层扫描图片的分析诊断黄斑疾病方面的可行性。

材料与方法。本研究对象包括在俄罗斯联邦医疗和生物局联邦专业医疗救护和医疗技术科学与临床中心以及以M. F. Vladimirsky命名的莫斯科州临床研究所接受检查和治疗的患者。对200只有黄斑病变的眼和无黄斑病变的眼进行了检查。对RTVue XR 110-2眼科断层扫描仪上的结构光学相干断层扫描进行了临床对比分析。利用Retina.AI软件对光学相干断层扫描进行分析。

结果。使用该程序分析光学相干断层扫描图片时，确定了黄斑区的各种病理结构。此外，还得出了关于可能病理的结论。对获得的结果与眼科医生的结论进行了比较。该方法的灵敏度为95.16%；特异性为97.76%；准确率为97.38%。

结论。Retina.AI平台使眼科医生能够成功地对结构光学相干断层扫描图片进行自动分析，并检测眼底的各种病理状态。

关键词：光学相干断层扫描；人工智能；玻璃体黄斑界面；诊断；糖尿病性黄斑水肿；老年性黄斑变性。

引用本文：

Khabazova MR, Ponomareva EN, Loskutov IA, Katalevskaya EA, Sizov AY, Gabaraev GM. 人工智能程序在黄斑疾病诊断中的可行性研究. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):17–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

收到: 30.11.2023

接受: 02.02.2024

发布日期: 11.03.2024

论证

据世界卫生组织统计,全球约有22亿人患有视力障碍,其中大部分患者年龄超过50岁[1]。黄斑疾病,尤其是老年性黄斑变性和糖尿病性黄斑水肿,在造成不可逆失明和低视力的原因中占很大比例[2]。

截至2020年,全球共有1.96亿老年性黄斑变性患者,预计到2040年这一数字将达到2.88亿[3]。在临床上,老年性黄斑变性可表现为疣沉积、视网膜色素上皮变化、黄斑新生血管、渗出和出血。晚期会出现视网膜色素上皮的地理萎缩[4]。这些疾病表现会导致明显的视力障碍。

糖尿病患者的人数正在稳步增加。与此同时,这种疾病的视力表现也在增加。据预测,到2045年,糖尿病视网膜病变病例数将增至1.605亿,其中危及视力的糖尿病视网膜病变患者人数将达到4482万[5]。发生在糖尿病视网膜病变不同阶段的糖尿病性黄斑水肿是糖尿病患者视力丧失的最常见原因,美国每年新增近75千名患者[6]。糖尿病性黄斑水肿的发病率与糖尿病视网膜病变的严重程度直接相关,其中70%发生在增殖期。在1型糖尿病患者中,27%的人在发病后9年内患上糖尿病性黄斑水肿[7]。在俄罗斯,有超过63万名不同阶段的糖尿病视网膜病变患者,在1型糖尿病患者中,其发病率是两倍[8]。

中心性浆液性脉络膜视网膜病变在危及视力的黄斑疾病中排名第四,其特点是神经上皮发生浆液性脱落,发生在脉络膜毛细血管浸润区。研究报告显示,中心性浆液性脉络膜视网膜病变的发病率为每10万人有9.9例。这一过程通常是单侧的,但也有40%的病例会出现双侧病变[9]。5%的病例会出现慢性病变,30%–50%的患者会在12个月内复发中心性浆液性脉络膜视网膜病变[10]。

玻璃体黄斑界面异常包括黄穿透性黄斑劈裂和未穿透性黄斑劈裂、玻璃体黄斑牵引和黄斑前膜。在某些情况下,玻璃体黄斑界面的变化可能不会导致明显的功能障碍,但如果对黄斑区造成严重影响,则会出现伴随明显视力障碍的症状,并对患者的生活质量造成负面影响。黄斑劈裂的发病率为每1000名55岁以上的患者中有3.3例[11]。根据不同作者的研究,年发病率从每10万人中有4.71例到8.5例不等[12]。

BDES (the Beaver Dam Eye Study) 使用光学相干断层扫描进行了一项为期20年的随访,发现黄斑前膜的发病率为34.1%。尽管这种疾病的发病机制不同,但临床表现可能相同。黄斑前膜可能是一种特发性疾病,也可能是在既往眼科疾病(如糖尿病视网膜病变、视网膜静脉闭塞或既往白内障手术)背景下出现的并发症[13]。出现黄斑前膜而无玻璃体后脱离,容易形成黄斑水肿和切线牵引综合征导致的未穿透性黄斑劈裂[14]。

如今,随着人口预期寿命的延长,及早发现随年龄增长而发展的疾病显得尤为重要。众所周知,及时发现疾病对治疗起着重要作用,也是降低发病率的主要步骤之一。由于糖尿病性黄斑水肿和老年性黄斑变性仍然是导致视力下降的主要原因,因此有必要对这些病症进行定期眼科筛查,以确定需要接受专门眼科治疗的患者。这种策略可以在早期阶段防止失明的发生[15]。及时开始治疗往往是取得良好疗效的关键,可获得积极的形态和功能结果(主要是视力)。

血管内皮生长因子抗体(anti-VEGF)疗法是治疗新生血管性老年性黄斑变性和糖尿病性黄斑水肿的金标准[16]。迄今为止,治疗这些疾病的方案多种多样。所有提议的方案都使用根据临床研究和光学相干断层扫描数据对治疗进行的评估,需要定期进行评估。目前,光学相干断层扫描是信息量最大、应用最广泛的视网膜病理诊断方法,可在治疗过程中提供准确的监测。光学相干断层扫描数据不仅可用于评估黄斑区的现状,也可用于选择特定病例所需的治疗策略。

需要定期进行眼科检查的黄斑疾病患者人数不断增加,给医疗系统造成了切实的负担。要在有限的时间内对大量患者进行诊断、评估所获得的数据并确定治疗策略,需要大量的人力和时间资源,这可能会造成医疗资源不足。要解决这一问题,就必须开发眼科图像分析的创新方法并将其引入临床实践,同时使用人工智能技术[17]。

得益于人工智能方法的发展,现在整个领域都在开发和实施医生活动中的智能系统。俄罗斯已经批准了2030年前的国家人工智能发展战略¹。

在俄罗斯和世界范围内,创建和验证临床实践中诊断视网膜病变的人工智能程序的工作正在进行中。来自Google DeepMind(英国、美国)的项目作者对32家眼科诊所临床实践中获取的大量图像进行了研究,这些图像涵盖了不同的人群。图像诊断的结果可用于量化视网膜形态并得出特定病变的测量值。该公司的软件能够高效地对扫描进行分流,其效率甚至超过了专科医生。论文作者对国家方向的53种病症进行了研究。根据他们的结论,他们提出的新系统能够定性、高效地分析临床光学相干断层扫描图像并提出建议。今后,他们计划关注更多的临床病理,并扩大工作范围。

在U.Schmidt-Erfurth教授的指导下,维也纳大学(奥地利)的工作人员开发了RetInSight程序,旨在利用人工智能算法监测新生血管性老年性黄斑变性治疗的效果。该方案基于视网膜内液和视网膜下液以及视网膜色素上皮脱落的分割原理,并对上述结构的体积进行动态评估[18]。

总部位于芝加哥的Altris Inc.(美国)宣布推出用于自动分析光学相干断层扫描的Altris AI软件。根据开发商提供的数据,该平台可对100

¹ 俄罗斯联邦总统于2019年10月10日第490号命令《关于俄罗斯联邦人工智能发展》。访问方式: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731>。

种病理和病理征兆（包括罕见病理和病理征兆）进行快速分析和可视化。装入的算法能够诊断青光眼、老年性黄斑变性、糖尿病视网膜病变和其他视网膜疾病。用户可使用筛查、分割/分类和报告模块[19]。

在B. E. Malyugin等人的研究[21]中，他们关注的是创建一种算法，用于自动检测老年性黄斑变性患者血管内皮生长因子抗体疗效的生物标志物。他们确定了七种生物标志物：色素上皮脱落、色素上皮、视网膜下积液、视网膜内积液、椭圆体区、视网膜神经纤维层和视网膜下高反射信号物质。视网膜色素上皮脱落的Dice指数为0.8，视网膜色素上皮和视网膜下积液为.4，其他生物标志物为0.3至0.15。今后，计划扩大训练数据集，提高工作的准确率[20]。

目的

研究基于结构性光学相干断层扫描的人工智能程序在诊断黄斑病变方面的能力。

材料与方 法

研究设计

用于研究的结构性光学相干断层扫描图片是通过RTVue XR 110-2眼科光学相干断层成像仪(Optovue, 美国)获取的。为了分析光学相干断层扫描图片,研究人员使用了基于人工智能算法Retina.AI的数字医学图像处理软件(Digital Vision Solutions LLC, 俄罗斯)。该研究采用非劣效性设计,是一项单中心回顾性观察随机非对照试验。

纳排标准

纳入标准:

- 曾诊断出糖尿病性黄斑水肿、老年性黄斑变性(干性和渗出性)、中心性浆液性脉络膜视网膜病变、玻璃体黄斑牵引综合征(玻璃体黄斑牵引、黄斑前膜、穿透性和非穿透性黄斑劈裂);
- 中心视力下降,怀疑黄斑病变。

排除标准:

- 由于光学介质的透明度明显受损(角膜混浊、成熟白内障、眼前房出血、玻璃体出血等)而无法进行光学相干断层扫描检查;
- 无法固定患者的视线(眼球震颤、帕金森症等)。

分组分析

这项研究包括129名患者,平均年龄为65.9岁。女人占总人数的55.8%(72名患者),男人占44.2%(57名患者)。共有200只眼睛接受了检查,病症如下:

- 糖尿病性黄斑水肿;
- 黄斑囊样水肿;
- 老年性黄斑变性(黄斑新生血管、视网膜疣);
- 中心性浆液性脉络膜视网膜病变;

表1.按病名分类的受检眼睛分布情况

诊断	眼睛数量
糖尿病性黄斑水肿/黄斑囊样水肿	52
老年性黄斑变性:黄斑新生血管	41
老年性黄斑变性:视网膜疣	40
中心性浆液性脉络膜视网膜病变	25
玻璃体黄斑牵引综合征	25
穿透性黄斑劈裂	23
非穿透性黄斑劈裂	25
黄斑前膜	72
无病变	34

- 玻璃体黄斑牵引综合征;
- 穿透性黄斑劈裂;
- 非穿透性黄斑劈裂;
- 黄斑前膜。

没有黄斑病变的眼睛也接受了检查。表1列出了按病名分类的分布情况。

执行条件

在本研究中,对在俄罗斯联邦国家预算机构《联邦医疗和生物局联邦专门医疗和医疗技术研究及临床中心》以及莫斯科州国家预算卫生机构《以M.F.Vladimirsky命名的莫斯科州临床研究所》接受检查和治疗的患者的结构性光学相干断层扫描图片进行了临床对比分析。研究为期12个月。

医疗干预措施描述和主要研究结果

人工智能程序对结构性光学相干断层扫描图片的分析分两个阶段进行。在第一阶段,程序对生物标志物进行分割。在第二阶段,程序使用鉴别诊断搜索算法计算出可能的病理结果。人工智能程序在对光学相干断层扫描图片进行分析时得出的结论与两名眼科医生的临床报告数据进行了比较。

伦理审查

俄罗斯联邦国家预算机构《联邦医疗和生物局联邦专门医疗和医疗技术研究及临床中心》伦理委员会,2022年11月29日第11_2022号会议记录摘录2。结论:“根据的TU 58.29.32-001-60003594-2022,批准在俄罗斯联邦国家预算机构《联邦医疗和生物局联邦专门医疗和医疗技术研究及临床中心》使用通过分析眼底照片和结构性光学相干断层扫描图片诊断眼科病症的数字医学图像工作软件Retina.AI,对从医疗数据库中选取的患者眼底照片和光学相干断层扫描图片进行回顾性分析”。

结果登记方法。统计分析

为了评估该方案的准确率,计算了以下参数:

- 真正例数——TP(True positives);
- 假正例数——FP(False positives);

- 假反例数——FN (False negatives);
- 真反例数——TN (True negatives)。

根据所提供的参数,使用以下公式计算出了每个病名的灵敏度、特异性和准确率得分:

Precision (准确率)——在预测的正例中,真

$$\text{Precision} = \frac{TP}{(TP + FP)}$$

Recall/Sensitivity (灵敏度)——在所有正例

$$\text{Recall} = \frac{TP}{(TP + FN)}$$

Specificity (特异性)——在所有反例中,正确

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{(TN + FP)} [17]。$$

结果

研究对象 (参与者)。主要研究成果

研究对象是通过分析结构性光学相干断层扫描图片诊断眼科病症的数字医学图像工作软件,即Retina.AI。研究以评估和分析临床数据的形式进行,没有患者参与。

在使用该软件分析光学相干断层扫描图片时,确定了以下病理结构:

- 视网膜内囊肿、视网膜下积液;
- 视网膜色素上皮脱落;
- 视网膜下高反射信号物质;
- 视网膜疣;
- 黄斑前膜;
- 玻璃体黄斑牵引;
- 穿透性黄斑劈裂;
- 非穿透性黄斑劈裂。

根据检测到的病理迹象,程序自动得出结论。该方法的一般指标如下:灵敏度为95.16%;特异性为97.76%;准确率为97.38%。表2列出了人工智能程序和眼科医生结论的详细对比分析结果。

图1给出的是患者B的黄斑区结构性光学相干断层扫描图片,54岁,患有2型糖尿病。根据眼科医生的报告,诊断结果为“糖尿病性黄斑水肿”。Retina.AI人

工智能算法在对结构性光学相干断层扫描图片进行程序分析的过程中,发现了以下病理迹象:视网膜内囊肿、视网膜下积液。结论诊断为糖尿病性黄斑水肿。

图2给出的是患者V的黄斑区结构性光学相干断层扫描图片,68岁,患有渗出性老年性黄斑变性。诊断由眼科医生确定。Retina.AI人工智能算法在对结构性光学相干断层扫描图片进行程序分析的过程中,发现了以下病理迹象:视网膜内囊肿、视网膜下积液、视网膜色素上皮脱落、视网膜下高反射信号物质。根据程序报告,记录了黄斑新生血管。

图3给出的是患者K的黄斑区结构性光学相干断层扫描图片,69岁,眼科医生诊断为“穿透性黄斑劈裂”。Retina.AI人工智能算法在对结构性光学相干断层扫描图片进行程序分析的过程中,确定了以下病理结构:穿透性黄斑劈裂、视网膜内囊肿、黄斑前膜。根据程序报告的数据,诊断出了穿透性黄斑劈裂和黄斑前膜。

不良事件

研究过程中未发生任何不良事件。

讨论

主要研究成果概述

在临床试验中,基于Retina.AI算法的软件在黄斑病理诊断中表现出极高的灵敏度、特异性和准确率:除玻璃体黄斑牵引综合征的灵敏度为86.96%外,所有疾病的诊断率均超过90%。该软件的优点是用户界面方便,可以在光学相干断层扫描图片中突出显示检测到的病理结构,这让医生有机会仔细检查程序的正确性,增强医生对人工智能技术的信心。

对主要研究成果的讨论

从实际应用的角度来看,在筛查检查中的应用是将人工智能技术引入临床工作的最有前途的领域之一,因为此时需要对大量病人进行检查,并确定哪些病人需要接受专门的眼科治疗。人工智能技术为将部分职能委托给护理人员 and 组织院前筛查提供可能性,以便医生腾出时间处理更复杂的任务,并提高眼

表2. Retina.AI诊断黄斑疾病的灵敏度、特异性和准确率

诊断	灵敏度, %	特异性, %	准确率, %
糖尿病性黄斑水肿/黄斑囊样水肿	96.08	97.48	97.14
黄斑新生血管	97.50	97.65	97.62
老年性黄斑变性: 视网膜疣	97.37	96.51	96.67
中心性浆液性脉络膜视网膜病变	92.59	98.36	97.62
玻璃体黄斑牵引	86.96	97.33	96.19
穿透性黄斑劈裂	95.65	98.40	98.10
黄斑前膜	100.00	97.12	98.10
非穿透性黄斑劈裂	95.83	97.85	97.62
无病变	94.72	97.69	97.25

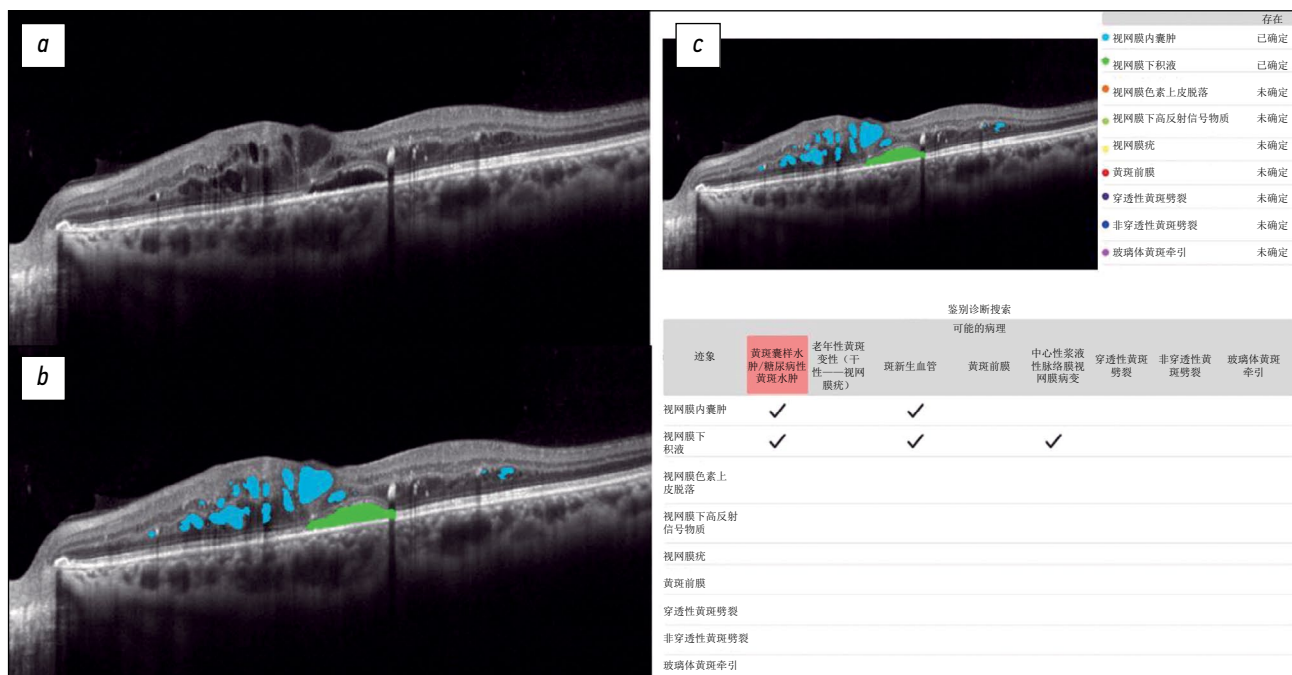


图1. 人工智能程序分析一名糖尿病性黄斑水肿患者黄斑区结构性光学相干断层扫描图片的实例：a——结构性光学相干断层扫描图片；b——对病理结构进行分割后的结构性光学相干断层扫描图片（视网膜下积液：绿色掩模，视网膜内囊肿：蓝色掩模）；c——扫描图片分析结果报告（在鉴别诊断搜索表中，糖尿病性黄斑水肿作为一种可能的病理用红色标出）。

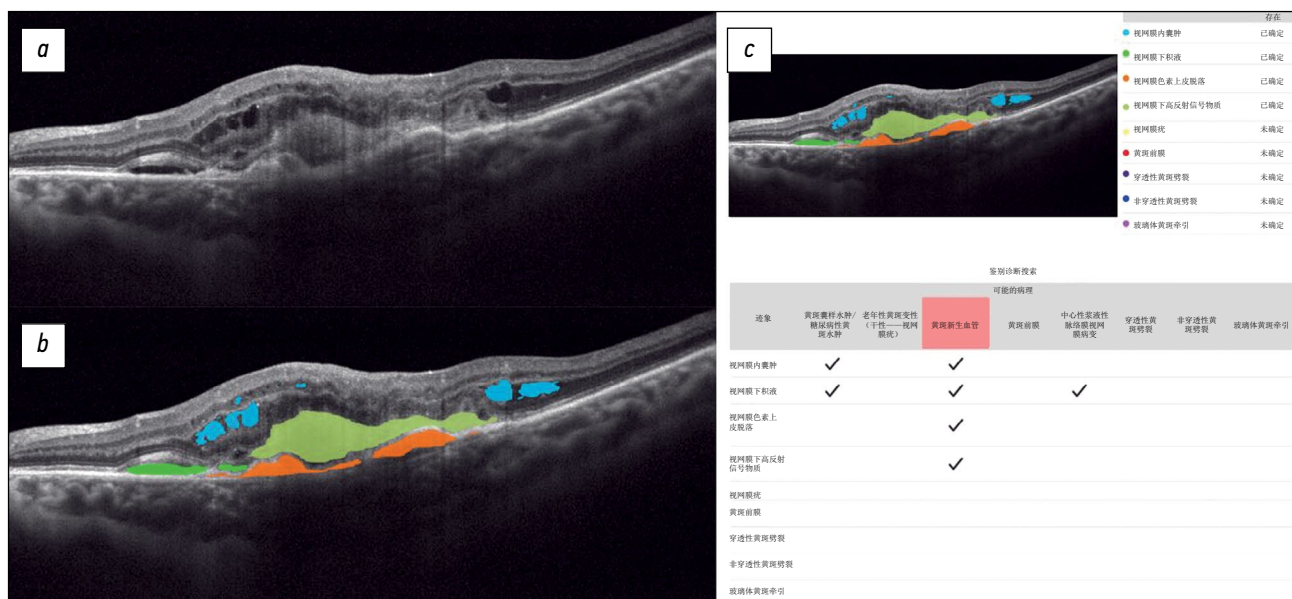


图2. 人工智能程序分析一名渗出性老年性黄斑变性患者黄斑区结构性光学相干断层扫描图片的实例：a——结构性光学相干断层扫描图片；b——对病理结构进行分割后的结构性光学相干断层扫描图片（视网膜下积液——绿色掩模，视网膜内囊肿——蓝色掩模，视网膜色素上皮脱落——橙色掩模，视网膜下高反射信号物质——黄色掩模）；c——扫描图片分析结果报告（在鉴别诊断搜索表中，黄斑新生血管作为可能的病理用红色标出）。

科诊室的通过能力。但需要强调的是，人工智能技术不能替代眼科医生，只能作为提高治疗和诊断效率的工具。由于平台位于“云空间”，因此必须使用稳定的互联网连接，这可能会给人工智能程序的实施带来一定的困难。为了在连续模式下方便地工作，开发一个不依赖于设备上互联网可用性的桌面应用程序是很有前途的。

治疗过程中的病理过程筛查是另一个利用人工智能技术的有前途领域。通过对视网膜内囊肿、视网膜下积液、色素上皮脱落和视网膜下高反射信号物质进行分割，可以定量评估糖尿病性黄斑水肿和渗出性老年性黄斑变性患者在血管内皮生长因子抗体治疗期间这些结构体积的动态变化。迄今为止，医生在治疗过程中使用的主要定量指标是光学相干断层扫描血管

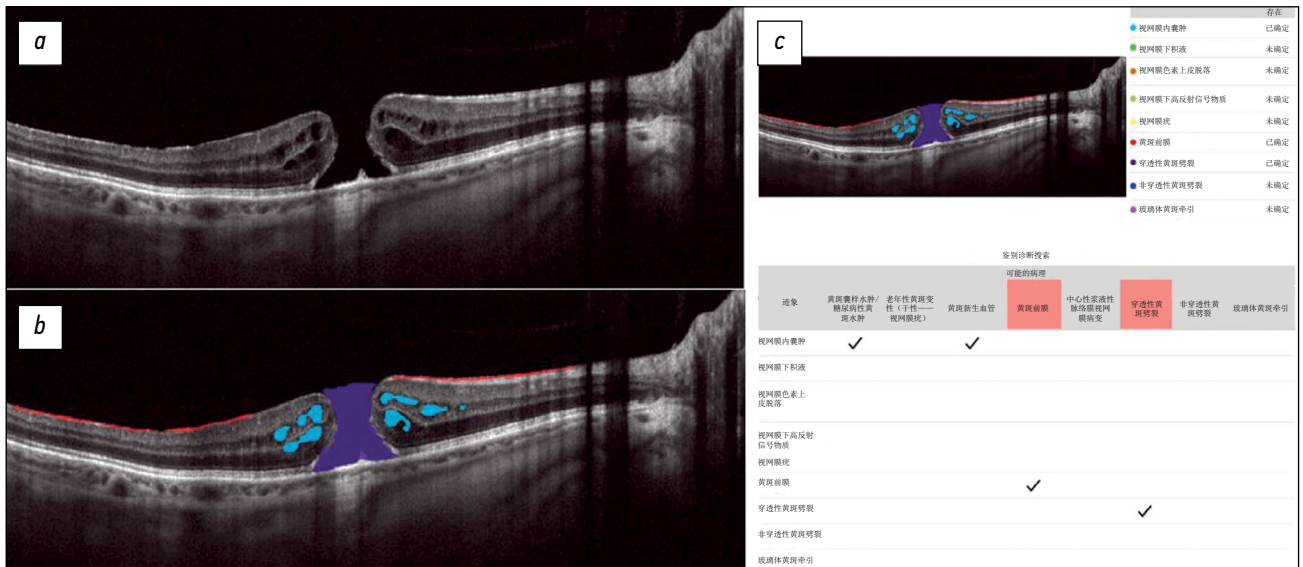


图3. 人工智能软件分析一名被诊断为黄斑劈裂、黄斑前膜患者的黄斑区结构性光学相干断层扫描扫描图片的实例：a——结构性光学相干断层扫描图片；b——对病理结构进行分割后的结构性光学相干断层扫描图片（穿透性黄斑劈裂——紫色掩模，视网膜内囊肿——蓝色掩模，黄斑前膜——红色掩模）；c——扫描图片分析结果报告（在鉴别诊断搜索表中，黄斑前膜、穿透性黄斑劈裂作为可能的病理用红色标出）。

造影显示的老年性黄斑变性患者最大矫正视力、视网膜中部厚度和新生血管膜面积。为评估血管内皮生长因子抗体疗效开发新的定量标准是眼科医生和人工智能算法开发人员共同努力的一项紧迫任务。

使用我们技术的一些局限性在于，只能对加载到程序中的单个光学相干断层扫描图片进行评估。当务之急是改进软件，以便将来能对一名患者的全系列图片进行分析。

结论

基于人工智能算法的Retina.AI软件在临床验证过程中，在对结构性光学相干断层扫描图片的分析基础上，在诊断糖尿病性黄斑水肿、干性和渗出性老年性黄斑变性、中心性浆液性脉络膜视网膜病变和玻璃体黄斑界面异常方面表现出较高的灵敏度、特异性和准确率。Retina.AI平台是俄罗斯开发的，目前可在以下链接进行测试：www.screenretina.ru。值得注意的是，该程序的结论不是诊断，需要专家的澄清。

REFERENCES

1. Report of the 2030 targets on effective coverage of eye care [Internet]. Geneva: World Health Organization. c2024. [cited 2023 Jan 1]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240058002>
2. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health*. 2021;9(2):144–160. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. Katalievskaya EA and Sizov AYu are part of the software developers. Other authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Khabazova MR — literature search and analysis, data analysis, manuscript writing, manuscript editing; Ponomareva EN — conducting research, data analysis, manuscript editing; Loskutov IA — discussion of the research results, editing; Katalievskaya EA — development of the artificial intelligence algorithms, data markup, manuscript editing, literature search and analysis; Sizov AYu — development of the artificial intelligence algorithms, data markup, graphic materials preparation; Gabaraev GM — literature search, data analysis.

3. Samanta A, Aziz AA, Jhingan M, et al. Emerging Therapies in Neovascular Age-Related Macular Degeneration in 2020. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020;9(3):250–259. doi: 10.1097/APO.0000000000000291
4. Stahl A. The Diagnosis and Treatment of Age-Related Macular Degeneration. *Dtsch Arztebl Int*. 2020;117:513–520. doi: 10.3238/arztebl.2020.0513
5. Teo ZL, Tham YC, Yu M, et al. Global Prevalence of Diabetic Retinopathy and Projection of Burden through 2045: Systematic Review and Meta-analysis. *Ophthalmology*. 2021;128(11):1580–1591. doi: 10.1016/j.ophtha.2021.04.027

6. Schaal S, Kaplan HJ, editors. *Cystoid Macular Edema*. Switzerland: Springer International Publishing; 2017. doi: 10.1007/978-3-319-39766-5
7. Bikbov MM, Fayzrakhmanov RR, Zaynullin RM, et al. Macular oedema as manifestation of diabetic retinopathy. *Diabetes mellitus*. 2017;20(4):263–269. EDN: ZMZAON doi: 10.14341/DM8328
8. Chernykh DV, Chernykh VV, Trunov AN. *Cytokines and growth factors in the pathogenesis of proliferative diabetic retinopathy*. Moscow: Oftal'mologiya; 2017. EDN: ZNDEWH
9. Gupta A, Tripathy K. Central Serous Chorioretinopathy [Internet]. [Updated 2022 Aug 22]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Available from: <https://www.statpearls.com/point-of-care/96027>
10. Semeraro F, Morescalchi F, Russo A, et al. Central Serous Chorioretinopathy: Pathogenesis and Management. *Clinical ophthalmology*. 2019;13:2341–2352. doi: 10.2147/OPHT.S220845
11. Oh KT, Lazzaro DR, editors. Macular Hole. [Internet]. Medscape, 2020. [cited 2020 Jan 02]. Available from: <https://emedicine.medscape.com/article/1224320-overview#a6>
12. Darian-Smith E, Howie AR, Allen PL, et al. Tasmanian macular hole study: whole population-based incidence of full thickness macular hole. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. 2016;44(9):812–816. doi: 10.1111/ceo.12801
13. Fung AT, Galvin J, Tran T. Epiretinal membrane: A review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. 2021;49:289–308. doi: 10.1111/ceo.13914
14. Oh KT, Lazzaro DR, editors. Epiretinal Membrane [Internet]. Medscape, 2020. [cited 2020 Jan 02]. Available from: <https://emedicine.medscape.com/article/1223882-overview#a4>
15. World Health Organization. Regional Office for Europe. Screening for diabetic retinopathy: a short guide. Increase effectiveness, maximize benefits and minimize harm [Internet]. Copenhagen; 2021. [cited 2020 Jan 02]. Available from: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289055321>
16. Qassimi AN, Kozak I, Karam AM, et al. Management of Diabetic Macular Edema: Guidelines from the Emirates Society of Ophthalmology. *Ophthalmology and therapy*. 2022;11:1937–1950. doi: 10.1007/s40123-022-00547-2
17. Katalovskaya EA, Katalovskiy DYU, Tyurikov MI, Velieva IA, Bol'shunov AV. Future of artificial intelligence for the diagnosis and treatment of retinal diseases. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2022;22(1):36–43. EDN: AEBQGU doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-36-43
18. Schmidt-Erfurth U, Reiter GS, Riedl S, et al. AI-based monitoring of retinal fluid in disease activity and under therapy. *Prog Retin Eye Res*. 2022;86. doi: 10.1016/j.preteyeres.2021.100972
19. Altris.ai [Internet]. United States: Altris Inc. [cited 2022 Jan 01]. Available from: <https://www.altris.ai>
20. Malyugin BE, Sakhnov SN, Axenova LE, et al. A deep machine learning model development for the biomarkers of the anatomical and functional anti-VEGF therapy outcome detection on retinal OCT images. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;(S4):77–84. EDN: OWQLRM doi: 10.25276/0235-4160-2022-4S-77-84

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Report of the 2030 targets on effective coverage of eye care [Internet]. Geneva : World Health Organization. c2024. [дата обращения: 1.01.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240058002>
2. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study // *Lancet Glob Health*. 2021. Vol. 9, N 2. P. 144–160. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7
3. Samanta A., Aziz A.A., Jhingan M., et al. Emerging Therapies in Neovascular Age-Related Macular Degeneration in 2020 // *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020. Vol. 9, N 3. P. 250–259. doi: 10.1097/APO.0000000000000291
4. Stahl A. The Diagnosis and Treatment of Age-Related Macular Degeneration // *Dtsch Arztebl Int*. 2020. Vol. 117. P. 513–520. doi: 10.3238/arztebl.2020.0513
5. Teo Z.L., Tham Y.C., Yu M., et al. Global Prevalence of Diabetic Retinopathy and Projection of Burden through 2045: Systematic Review and Meta-analysis // *Ophthalmology*. 2021. Vol. 128, N 11. P. 1580–1591. doi: 10.1016/j.ophtha.2021.04.027
6. Schaal S., Kaplan H.J., editors. *Cystoid Macular Edema*. Switzerland : Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-39766-5
7. Бикбов М.М., Файзрахманов Р.Р., Зайнуллин Р.М., и др. Макулярный отёк как проявление диабетической ретинопатии // *Сахарный диабет*. 2017. Т. 20, № 4. С. 263–269. EDN: ZMZAON doi: 10.14341/DM8328
8. Черных Д.В., Черных В.В., Трунов А.Н. Цитокины и факторы роста в патогенезе пролиферативной диабетической ретинопатии. Москва : Офтальмология, 2017. EDN: ZNDEWH
9. Gupta A, Tripathy K. Central Serous Chorioretinopathy [Internet]. [Updated 2022 Aug 22]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Доступ по ссылке: <https://www.statpearls.com/point-of-care/96027>
10. Semeraro F, Morescalchi F, Russo A, et al. Central Serous Chorioretinopathy: Pathogenesis and Management // *Clinical ophthalmology*. 2019. Vol. 13. P. 2341–2352. doi: 10.2147/OPHT.S220845
11. Oh K.T., Lazzaro D.R., editors. Macular Hole. [Internet]. Medscape, 2020. [Дата обращения: 02.01.2020]. Доступ по ссылке: <https://emedicine.medscape.com/article/1224320-overview#a6>
12. Darian-Smith E, Howie A.R., Allen P.L., et al. Tasmanian macular hole study: whole population-based incidence of full thickness macular hole // *Clin Exp Ophthalmol*. 2016. Vol. 44, N 9. P. 812–816. doi: 10.1111/ceo.12801
13. Fung A.T., Galvin J., Tran T. Epiretinal membrane: A review // *Clin Experiment Ophthalmol*. 2021. Vol. 49. P. 289–308. doi: 10.1111/ceo.13914
14. Oh K.T., Lazzaro D.R., editors. Epiretinal Membrane [Internet]. Medscape, 2020. [Дата обращения: 02.01.2020]. Доступ по ссылке: <https://emedicine.medscape.com/article/1223882-overview#a4>
15. Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. Скрининг на диабетическую ретинопатию: Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда, краткое руководство [Internet]. Копенгаген,

2021. [Дата обращения: 02.01.2020]. Доступ по ссылке: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289055321>

16. Qassimi A.N., Kozak I., Karam A.M., et al. Management of Diabetic Macular Edema: Guidelines from the Emirates Society of Ophthalmology // *Ophthalmology and therapy*. 2022. Vol. 11. P. 1937–1950. doi: 10.1007/s40123-022-00547-2

17. Каталевская Е.А., Каталевский Д.Ю., Тюриков М.И., Велиева И.А., Большунов А.В. Перспективы использования искусственного интеллекта в диагностике и лечении заболеваний сетчатки // *PMЖ. Клиническая офтальмология*. 2022. Т. 22, № 1. С. 36–43. EDN: AEBQGU doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-36-43

18. Schmidt-Erfurth U., Reiter G.S., Riedl S., et al. AI-based monitoring of retinal fluid in disease activity and under therapy // *Prog Retin Eye Res*. 2022. Vol. 86. doi: 10.1016/j.preteyeres.2021.100972

19. Altris.ai [Internet]. United States : Altris Inc. [Дата обращения: 01.01.2022]. Доступ по ссылке: <https://www.altris.ai>

20. Малюгин Б.Э., Сахнов С.Н., Аксенова Л.Е., и др. Разработка модели глубокого машинного обучения для обнаружения биомаркёров анатомического и функционального исхода анти-VEGF-терапии на ОКТ-изображениях сетчатки // *Офтальмохирургия*. 2022. № S4. С. 77–84. EDN: OWQLRM doi: 10.25276/0235-4160-2022-4S-77-84

AUTHORS' INFO

*** Margarita R. Khabazova;**

address: 28 Orekhovyi bul'var, 115682

Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0002-7770-575X;

eLibrary SPIN: 2736-9089;

e-mail: rita.khabazova@mail.ru

Elena N. Ponomareva;

ORCID: 0009-0001-0828-9844;

eLibrary SPIN: 7868-4425;

e-mail: ponomareva.en@fnkc-fmba.ru

Igor A. Loskutov, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-0057-3338;

eLibrary SPIN: 5845-6058;

e-mail: loskoutigor@mail.ru

Evgenia A. Katalevskaya, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-5710-9205;

eLibrary SPIN: 7849-8890;

e-mail: ekatalevskaya@mail.ru

Alexander Yu. Sizov;

ORCID: 0000-0003-3338-4015;

eLibrary SPIN: 4468-1730;

e-mail: sizov_ost_vk@mail.ru

Georgiy M. Gabaraev;

ORCID: 0000-0002-0759-3107;

eLibrary SPIN: 1802-3224;

e-mail: geor_gabaraev1@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Хабазова Маргарита Робертовна;**

адрес: Российская Федерация, 115682, г. Москва,

Ореховый бульвар, д. 28;

ORCID: 0000-0002-7770-575X;

eLibrary SPIN: 2736-9089;

e-mail: rita.khabazova@mail.ru

Пономарева Елена Николаевна;

ORCID: 0009-0001-0828-9844;

eLibrary SPIN: 7868-4425;

e-mail: ponomareva.en@fnkc-fmba.ru

Лоскутов Игорь Анатольевич, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-0057-3338;

eLibrary SPIN: 5845-6058;

e-mail: loskoutigor@mail.ru

Каталевская Евгения Алексеевна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-5710-9205;

eLibrary SPIN: 7849-8890;

e-mail: ekatalevskaya@mail.ru

Сизов Александр Юрьевич;

ORCID: 0000-0003-3338-4015;

eLibrary SPIN: 4468-1730;

e-mail: sizov_ost_vk@mail.ru

Габараев Георгий Малхазович;

ORCID: 0000-0002-0759-3107;

eLibrary SPIN: 1802-3224;

e-mail: geor_gabaraev1@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку