РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2560388

СПОСОБ УДАЛЕНИЯ ГЛАЗО-ДВИГАТЕЛЬНЫХ АРТЕФАКТОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛЛОГРАММАХ

Патентообладатель(ли): ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А." (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2014124739**

Приоритет изобретения **17 июня 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***21 июля 2015 г.***

Срок действия патента истекает **17 июня 2034 г.**

Заместитель руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 560 388** (13) **C1**

(51) МПК
A61B 5/0476 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2014124739/14, 17.06.2014**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.06.2014

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **17.06.2014**

(45) Опубликовано: **20.08.2015** Бюл. № **23**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **CN 101474070 A, 08.07.2009. RU 2484766 C1, 20.06.2013. US 2011159467 A1, 30.06.2011. US 2007276278 A1, 29.11.2007. ЩЕКУТЬЕВ Г.А. и др. Об одном подходе в удалении пространственно некоррелированных артефактов из ЭЭГ. Физиология человека. 2009, 35, 4, с. SCHLOGL A. et al. A fully automated correction method of EOG artifacts in EEG recordings. Clin** (см. прод.)

Адрес для переписки:
410054, г.Саратов, ул. Политехническая, 77, СГТУ имени Гагарина Ю.А., патентно-лицензионный отдел ЦТТ

(72) Автор(ы):
Короновский Алексей Александрович (RU),
Храмов Александр Евгеньевич (RU),
Москаленко Ольга Игоревна (RU),
Грубов Вадим Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А." (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) (RU)

RU 2560388 C1

(54) СПОСОБ УДАЛЕНИЯ ГЛАЗО-ДВИГАТЕЛЬНЫХ АРТЕФАКТОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛЛОГРАММАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области биомедицинских технологий. Регистрируют сигналы электроэнцефаллограмм и электроокулограмм. Нормируют сигналы электроокулограмм, характеризующие вертикальные и горизонтальные движения глаз, в интервале [1.5, 5] с. Осуществляют процедуру вычитания из исходного сигнала электроэнцефалограммы скалярного произведения исходного сигнала электроэнцефалограммы и нормированного опорного сигнала электроокулограммы, характеризующего вертикальные движения глаз. Также производят вычитание из полученного сигнала скалярного произведения этого сигнала и нормированного опорного сигнала электроокулограммы, характеризующего горизонтальные движения глаз. В результате получают очищенный от глазодвигательных артефактов сигнала. Способ позволяет упростить процедуру удаления глазодвигательных артефактов при сохранении высокой достоверности получаемой записи электроэнцефалограммы, что достигается за счет использования метода ортогонализации Грамма-Шмидта. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2560388 C1

(56) (продолжение):
Neurophysiol. 2007 Jan;118(1):98-104. HE P. et al. Removal of ocular artifacts from the EEG: a comparison between time-domain regression method and adaptive filtering method using simulated data. Med Biol Eng Comput. 2007 May;45(5):495-503

RU 2560388 C1

RU 2560388 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 560 388** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
A61B 5/0476 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2014124739/14, 17.06.2014**

(24) Effective date for property rights:
17.06.2014

Priority:
(22) Date of filing: **17.06.2014**

(45) Date of publication: **20.08.2015** Bull. № **23**

Mail address:
410054, g.Saratov, ul. Politekhnicheskaja, 77, SGTU imeni Gagarina Ju.A., patentno-litsenzionnyj otdel TsTT

(72) Inventor(s):
Koronovskij Aleksej Aleksandrovich (RU),
Khramov Aleksandr Evgen'evich (RU),
Moskalenko Ol'ga Igorevna (RU),
Grubov Vadim Valer'evich (RU)

(73) Proprietor(s):
Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Saratovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni Gagarina Ju.A." (SGTU imeni Gagarina Ju.A.) (RU)

(54) METHOD OF REMOVAL OF EYE-MOTION ARTEFACTS ON ELECTROENCEPHALOGRAMS

(57) Abstract:

FIELD: biotechnology.

SUBSTANCE: signals of electroencephalograms and electrooculograms are registered. The signals of electrooculograms are normalised, which characterise the vertical and horizontal eye movements, in the range of [1.5, 5] s. The procedure of subtraction from the initial signal of electroencephalogram of the scalar product of the initial signal of electroencephalogram and the normalised reference signal of electrooculogram is carried out, which characterise the vertical eye movements. Also subtraction from the received signal of the scalar product of this signal and the normalised reference signal of electrooculogram is carried out, which characterise the horizontal eye movements. As a result, the signal is obtained, purified from the oculomotor artefacts.

EFFECT: method enables to simplify the procedure of removal of oculomotor artefacts while maintaining high reliability of the obtained record of electroencephalogram, which is achieved by using the method of Gram-Schmidt orthogonalisation.

2 cl, 2 dwg

RU 2560388 C1

RU 2560388 C1

Изобретение относится к области биомедицинских технологий и предназначено для удаления глазо-двигательных артефактов на электроэнцефалограммах (ЭЭГ) животных и человека. Непосредственное использование стандартных методов анализа структуры сигналов (например, классического спектрального или вейвлетного анализа) при изучении ЭЭГ в значительной степени лимитировано из-за наличия артефактов в экспериментальных данных. Эти артефакты связаны с движениями глаз, морганием, мышечной активностью и т.д., причем их амплитуда может намного превышать амплитуду электрической активности головного мозга, представляющих интерес для исследования. В настоящее время используется визуальный (или полуавтоматический) способ распознавания артефактов, а удаление артефактов часто производят вручную. Обычно фрагмент, содержащий артефакт, вырезается из ЭЭГ. Во многих практических случаях это приводит к достаточно субъективной процедуре, требующей большого внимания экспериментатора и приводящей к существенному сокращению объема экспериментальных данных для дальнейшего анализа. Например, из 10-минутных записей ЭЭГ здорового человека часто получают около 1 минуты "чистой" записи. В медицинской практике, например, в ЭЭГ детей (см., например, Tran Y. et al. Med. Biol. Eng. Comput. 42 627 (2004)) или людей с некоторыми патологиями (Urrestarazu E. et al. Epilepsia. 45, 1 (2004)) сокращение объема экспериментальных данных становится еще больше, что значительно снижает эффективность проведения диагностических исследований. Наряду с сокращением объема выборки, осуществление сегментации экспериментальных данных (объединение участков, свободных от артефактов) вызывает ряд вопросов, связанных, например, со стационарностью процесса, составленного из объединенных фрагментов. В связи с этим разработка процедур очистки данных от артефактов, не связанная с вырезанием фрагментов, представляется весьма важной и актуальной.

В настоящее время известны способы удаления глазо-двигательных артефактов, основанные на анализе независимых компонентов (см., например, [Bell A.J., Sejnowski T.J. Neural Comput. 7 (1995) 1129; Delorme A., Makeig S., Sejnowski T. Proceedings of the Third International ICA Conference (2001), San Diego; Joyce C.A., Gorodnitsky I.F., Kutas M. Psychophysiology, 41 (2004), 313-325] и др.) и регрессионном анализе [Gratton G. Dealing with artifacts: Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 30 (1998), 44-53; Liu T., Yao D. Method for removing ocular artifacts in brain-electrical signal. Patent for invention CN 101474070, 2009]. Принципиальными недостатками таких методов являются сложность преобразований и недостаточная точность определения артефактов на ЭЭГ.

Наиболее близким к заявляемому способу является способ удаления глазо-двигательных артефактов, основанный на регрессионном анализе [Liu T., Yao D. Method for removing ocular artifacts in brain-electrical signal. Patent for invention CN 101474070, 2009]. Согласно этому методу, осуществляют анализ главных компонентов сигнала ЭЭГ, содержащего глазо-двигательные артефакты, определяют компоненты, относящиеся к глазо-двигательным артефактам, производят фильтрацию этих компонентов в диапазоне 1-8 ГГц и вычисляют коэффициенты их ослабления при помощи регрессионного алгоритма. Коэффициенты ослабления используют в дальнейшем для упорядочивания пространственного распределения компонентов глазо-двигательных артефактов, а сами упорядоченные пространственные распределения используют для удаления самих глазо-двигательных артефактов на ЭЭГ. Такой метод является более точным по сравнению с традиционным методом, основанном на анализе главных компонентов, в то время как он оказывается более трудоемким по сравнению с последним.

В то же самое время в ряде случаев, например, если существует линейная комбинация артефакта и сигнала ЭЭГ, возможно использовать более простые методики, основанные на известных математических подходах линейной алгебры, для удаления глазо-двигательных артефактов.

Таким образом, задачей настоящего изобретения является разработка простого и эффективного способа удаления глазо-двигательных артефактов на ЭЭГ в случае, если существует линейная комбинация самого сигнала и артефакта.

Техническим результатом изобретения по сравнению с прототипом является возможность точного и быстрого удаления глазодвигательных артефактов без использования ручной обработки данных из многоканальных сигналов ЭЭГ с использованием сигналов электроокулограмм (ЭОГ) - потенциалов, наведенных движением глаз.

Изобретение поясняется чертежами, где на фигуре 1 представлена схема установки электродов (показаны жирными кругами) для фиксации поворота глаз по изменению разности потенциалов между ними, связанной с поворотом глазного яблока,

которое может рассматриваться как электрический диполь, созданный разностью потенциалов между сетчаткой и роговой оболочкой глаза (Gratton G., Coles M.G.H., Donchin E. A new method for off-line removal of ocular artifact. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1983. V. 55, p. 468-484). Электроды крепят по разные стороны от него (справа/слева, сверху/снизу). На фигуре 2 представлены примеры (а) двух каналов ЭЭГ (отведение «Fp1-A1» из лобной доли правого полушария головного мозга и «F3-A1» - лобной доли левого полушария головного мозга) при наличии глазодвигательных артефактов, (б, в) ЭОГ соответственно фиксирующие вертикальные и поперечные движения глаз, (г) сигналы отведений «Fp1-A1» и «F3-A1» ЭЭГ, очищенные от артефактов при помощи заявленного метода.

Поставленная задача решается тем, что вместе с многоканальным сигналом ЭЭГ регистрируют сигналы ЭОГ, при этом регистрирующие первый и второй электроды устанавливают сверху одного и снизу другого глаза, а третий и четвертый электроды - слева и справа глаза, как показано на фигуре 1, а потенциалы, наведенные движением глаз на электродах, регистрирующем ЭЭГ, зависят линейно от потенциалов, регистрируемых в канале ЭОГ (Иваницкий Г.А. Распознавание типа решаемой задачи по нескольким секундам ЭЭГ с помощью обучаемого классификатора // Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Москва, 2007).

Заявляемый способ удаления глазо-двигательных артефактов основан на применении метода ортогонализации Грамма-Шмидта для удаления глазодвигательных артефактов на сигналах ЭЭГ и содержит следующие этапы:

Регистрируют сигналы ЭЭГ и одновременно с ними два сигнала ЭОГ, которые фиксируют глазодвигательные артефакты - как движения глаза «вверх-вниз», связанные с морганием (во время закрытия век глазное яблоко опускается вниз), так и поперечные движения глаз «влево-вправо».

Для очистки сигналов ЭЭГ от артефактов, характерных для движения глаз - глазодвигательных артефактов, с учетом линейной зависимости потенциалов, наведенных движением глаз на электродах, регистрирующихх ЭЭГ, от потенциалов, регистрируемых в канале ЭОГ - используют процедуру ортогонализации Грамма-Шмидта (Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. Физматлит, 2005).

Пусть $g_i(t)$ - сигнал i-го канала предварительно записанной ЭЭГ, h(t) и s(t) - сигналы ЭОГ, регистрирующие соответственно вертикальные и горизонтальные движения глаз.

Проводят последовательно процедуры ортогонализации Грамма-Шмидта

$$g_i'(t) = g_i(t) - h^0(t)\int_{t_1}^{t_1+T} h^0(t')g_i(t')dt', \quad (1)$$

$$\tilde{g}_i(t) = g_i'(t) - s^0(t)\int_{t_1}^{t_1+T} s^0(t')g_i'(t')dt', \quad (2)$$

где $\tilde{g}_i(t)$ - сигнал, соответствующий i-му каналу ЭЭГ, с удаленными глазодвигательными артефактами, t - текущий анализируемый момент времени, t_1 и T - начало и длительность отрезка ЭЭГ, на которой удаляются артефакты ($t\in[t_1,t_1+T]$),

$$h^0(t) = \frac{h(t)}{\| h(t) \|}, \quad \| h(t) \| = \sqrt{\int_{t_1}^{t_1+T} (h(t))^2 dt}, \quad (3)$$

$$s^0(t) = \frac{s(t)}{\| s(t) \|}, \quad \| s(t) \| = \sqrt{\int_{t_1}^{t_1+T} (s(t))^2 dt}, \quad (4)$$

где $h^0(t)$ и $s^0(t)$ представляют собой нормированные опорные сигналы ЭОГ, характеризующие вертикальные и горизонтальные движения глаз, соответственно (Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. Физматлит, 2005; Иваницкий Г.А. Распознавание типа решаемой задачи по нескольким секундам ЭЭГ с помощью обучаемого классификатора // Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Москва, 2007).

Процедура (1)-(4) повторяется для всех регистрируемых каналов ЭЭГ.

Данная процедура удаления глазодвигательных артефактов может использоваться и для обработки ЭЭГ для удаления артефактов в реальном времени. В этом случае необходимо использовать соотношения, аналогичные формулам (1)-(4):

$$g_i'(t) = g_i(t) - h^0(t)\int_{t-T/2}^{t+T/2} h^0(t')g_i(t')dt', \quad (5)$$

$$\tilde{g}_i(t) = g_i'(t) - s^0(t)\int_{t-T/2}^{t+T/2} s^0(t')g_i'(t')dt', \quad (6)$$

$$h^0(t) = \frac{h(t)}{\| h(t) \|}, \quad \| h(t) \| = \sqrt{\int_{t-T/2}^{t+T/2} (h(t))^2 dt}, \quad (7)$$

$$s^0(t) = \frac{s(t)}{\| s(t) \|}, \quad \| s(t) \| = \sqrt{\int_{t-T/2}^{t+T/2} (s(t))^2 dt}, \quad (8)$$

где t - это анализируемый момент времени, T - ширина временного окна, t+T/2 - регистрируемый «текущий» момент времени, остальные обозначения совпадают с вышеобозначенными. В модификации способа удаления артефактов в реальном времени сигнал ЭЭГ без артефактов $\tilde{g}_i(t)$ определяется с задержкой во времени t-T/2. Характерный диапазон длительности T, обеспечивающий эффективность выполнения удаления артефактов в реальном времени, соответствут 1.5-5 с.

Рассмотрим пример конкретной реализации заявляемого способа. Для этого рассмотрим временные реализации записей электрической активности головного мозга

(ЭЭГ) добровольцев - здоровых мужчин и женщин возраста 30-35 лет.

Регистрация ЭЭГ проводилась с использованием стандартной системы размещения электродов на поверхности головы (система 10-20). Частотный диапазон многоканальной ЭЭГ ограничивался полосовыми фильтрами с полосами пропускания 0.5-49 Гц и 51-75 Гц, амплитуда сигналов после усилителя варьировалась от 0.02 до 2 В. Запись сигналов ЭОГ, фиксирующих вертикальные и горизонтальные движения глазного яблока, осуществлялась с использованием электродов, расположение которых показано на фигуре 1.

Длительность записи была 12 минут, в течение которых испытуемым предлагалось провести 4 минуты в спокойном расслабленном состоянии, далее в течение 2 минут не моргать и постараться не совершать горизонтальные движения глазами, далее 2 минуты активного движения глаз и далее опять 4 минуты свободного расслабленного состояния.

Типичные сигналы различных каналов ЭЭГ, регистрируемые в ходе наблюдений в фазе активного движения глазами, представляли собой сигналы, на которые накладываются высокоамплитудные низкочастотные всплески, соответствующие движениям глаз в горизонтальном и вертикальном направлениях, - глазодвигательные артефакты. На фигуре 2а приведены фрагменты типичной ЭЭГ с высокоамплитудными глазодвигательными артефактами для двух каналов ЭЭГ, снимаемой из различных точек головного мозга - отведение «Fp1-A1» из лобной доли правого полушария головного мозга (расположена вблизи правого глаза и регистрирующих ЭОГ электродов) и отведение «F3-A1» из лобной доли левого полушария головного мозга (расположена вдали от регистрирующих ЭОГ электродов). Одновременно регистрируемые электроокулограммы, фиксирующие вертикальные и поперечные движения глаз, показаны на фигурах 2б,в. Результат обработки сигналов отведений «Fp1-A1» и «F3-A1» ЭЭГ с использованием вышеописанной методики (1)-(4), базирующейся на методе ортогонализации Грамма-Шмидта, показан на фигуре 2г. Хорошо видно, что заявляемый способ эффективно удаляет глазодвигательныеартефакты из сигналов ЭЭГ, не требуя ручного труда и сложных процедур обработки данных.

Аналогичные результаты были получены при анализе и удалении глазодвигательных артефактов на ЭЭГ всех добровольцев (12 человек).

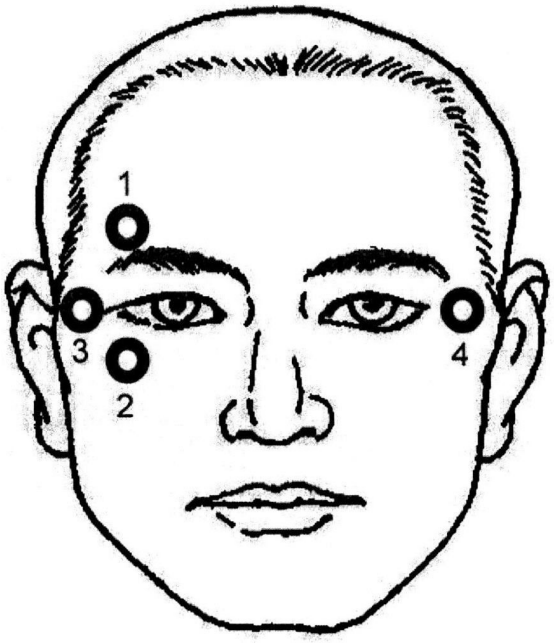
Таким образом, техническим результатом заявляемого способа удаления глазодвигательных артефактов на ЭЭГ является обеспечение возможности эффективного удаления глазодвигательных артефактов из сигналов ЭЭГ без применения ручного труда, сложных процедур обработки данных и удаления фрагментов, содержащих артефакты, в уже записанной ЭЭГ, что обеспечит возможность улучшения диагностирования заболеваний по ЭЭГ.

Формула изобретения

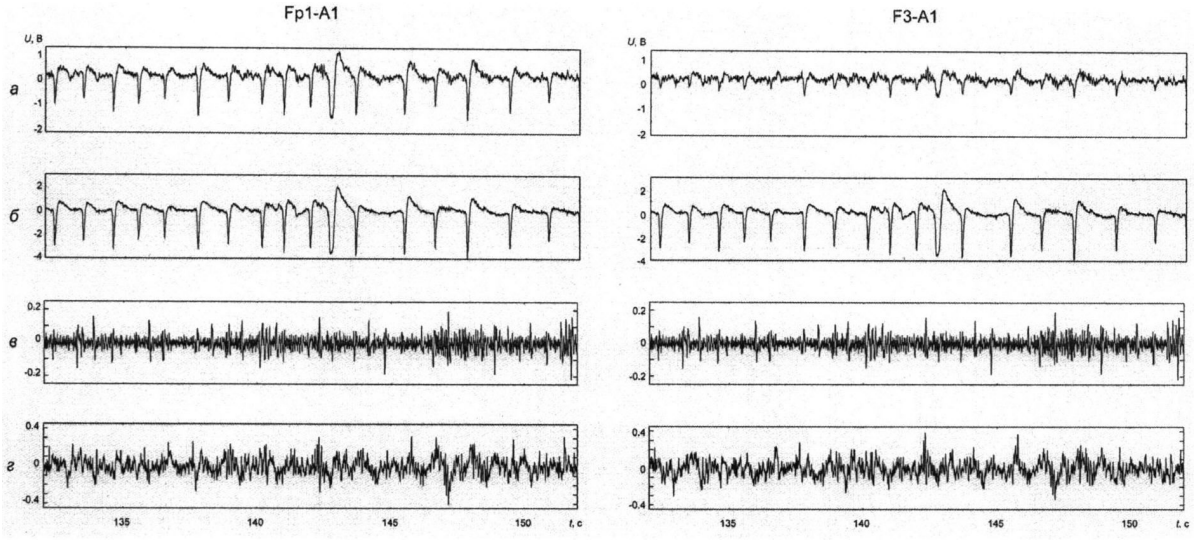
1. Способ удаления глазодвигательных артефактов на сигналах электроэнцефалограмм, заключающийся в том, что регистрируют сигналы электроэнцефаллограмм и электроокулограмм, отличающийся тем, что нормируют сигналы электроокулограмм, характеризующие вертикальные и горизонтальные движения глаз, в интервале [1.5, 5] с, осуществляют процедуру вычитания из исходного сигнала электроэнцефалограммы скалярного произведения исходного сигнала электроэнцефалограммы и нормированного опорного сигнала электроокулограммы, характеризующего вертикальные движения глаз, и производят вычитание из полученного сигнала скалярного произведения этого сигнала и нормированного опорного сигнала

электроокулограммы, характеризующего горизонтальные движения глаз, с формированием очищенного от глазодвигательных артефактов сигнала.

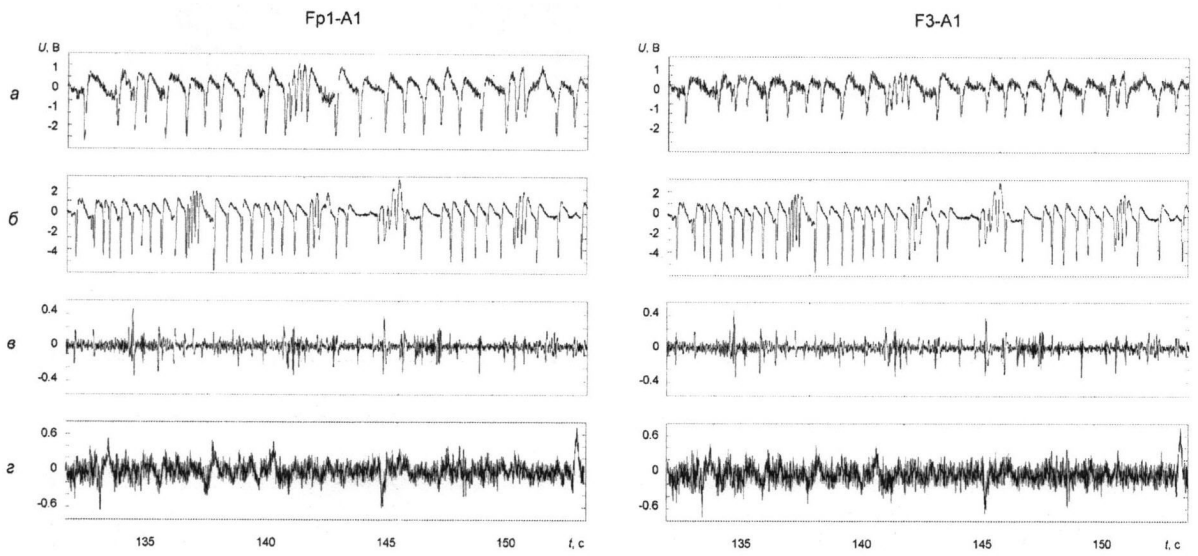
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что удаление глазодвигательных артефактов на электроэнцефалограммах осуществляют в реальном времени.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3