УДК 616.281-071.621.391

ЭЛЕКТРОННЫЙ КЕФАЛОГРАФ "ELTIK-02"

В.М. Головенко, Л.А. Аверьянова, О.И. Скляр
Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

В данной работе предлагается электронный программно-аппаратный комплекс для проведения функциональной диагностики вестибулярного аппарата человека и усовершенствованная методика для проведения кефалографических исследований.

Введение

Исследования состояния функции равновесия тела человека важны при профосмотрах специалистов многих специальностей, например, летчиков, спортсменов, водителей, высотных монтажников и др. При некоторых видах заболеваний (травмы и воспаления лор-органов и головного мозга) исследование функции равновесия тела также является одним из важных методов функциональной диагностики. В связи с этим создание современных технических средств обеспечения таких исследований является актуальной задачей [1, 2]. Одним из методов исследования состояния функции равновесия является кефалография – графическая регистрация колебаний головы человека относительно вертикальной оси тела. Как правило, кефалографические исследования проводят в позе Ромберга – исследуемого просят стать строго вертикально, сомкнуть ноги, вытянуть вперед руки, растопырить пальцы, закрыть глаза.

Из устройств, позволяющих регистрировать колебаний головы, известны механические кефалографы рис. 1 [1]. Это устройство основано на принципе импульсной механической регистрации перемещения головы. Оно состоит из пневматического маркера и поля регистрации меток маркера.

Пневматический маркер представляет собой металлический цилиндр для удержания маркера, соединенный резиновой трубкой с импульсным насосом, над головой находится поле регистрации меток (лист бумаги, закрепленный на штативе). Основание цилиндра укрепляется нормально к центру макушки головы человека с помощью фиксирующего устройства (оголовник). После подачи импульса давления маркер оставляет на бумаге метку (множество таких меток и есть кефалограмма). По стандартной методике импульсы давления подаются 1 раз в секунду в течение 1 минуты. В зависимости от характера и степени разброса точек на бумаге можно объективно судить о функции статического равновесия человека [1].

В основу алгоритма обработки кефалограмм положен принцип определения рассеивания точек относительно центральной точки. Для удобства вычислений используется "линейка", состоящая из 10 концентрических окружностей, пронумерованных от центра к периферии. Радиус первой окружности равен 10 мм, а каждой последующей увеличен на 10 мм. Традиционно обработка кефалограммы заключается в определении квадранта кучности точек и расчете индекса кефалографии $P_{КФГ}$, который производят по формуле

$$P_{КФГ} = \frac{n + (n_1 \cdot N)}{k}, \quad (1)$$

где n – число точек в центральном круге кефалограммы; n_1 – число точек за пределами центрального круга; N – номер круга, наиболее удаленного от центрального, в котором имеются точки; k – общее количество точек в кефалограмме.

Главным недостатком механической кефалографической системы является невозможность отслеживания траектории движения головы и точной дискретизации времени, а это влечет за собой затруднения связанные с анализом кефалограмм, в том числе невозможность автоматической обработки результатов и пр.



Рисунок 1.
Механический кефалограф:
1 – цилиндр; 2 – оголовник; 3 – пневматический ввод; 4 – маркер; 5 – штатив; 6 – лист бумаги

Цель исследования

Целью данной работы является реализация идеи механической кефалографии с помощью современных оптоэлектронных средств и усовершенствование методики анализа кефалограммы с помощью современных вычислительных средств.

Материалы и методы

Используется созданный авторами программно-аппаратный комплекс "ElTik-02" (рис. 2) совместно со специализированным программным обеспечением [3]. Комплекс реализован как оптоэлектронная система, позволяющая отслеживать перемещение датчика положения головы.

Результаты работы

Принцип аппаратной реализации электронного кефалографа. В предложенном электронном кефалографе "ElTik-02" принцип механического нанесения точек на лист бумаги заменен записью совокупности кадров с одной точкой, соответствующей текущему положению центра головы. При создании кадра с одной точкой выдержан принцип создания максимального контраста для системы "объект-фон" (например, белая точка на черном фоне). Получение общей кефалограммы реализуется как "суммирование" отдельных "стоп-кадров". Реализовать идею механической кефалографии с помощью современных оптоэлектронных средств можно, если в качестве датчика положения головы в пространстве будет использовано любое точечное светоизлучающее устройство, а в качестве регистратора положения датчика – цифровая видеокамера, непосредственно сопряженная с компьютером. Так в устройстве "ElTik-02" в качестве датчика положения головы применяется светодиод, который закреплен в центре черного диска, а диск – на оголовнике. В качестве регистратора положения головы используется простейшая web-камера, которая через USB-порт, подключается к компьютеру. В исходном состоянии плоскость диска на оголовнике параллельна плоскости детектора видеокамеры. Точность регистрации перемещения головы зависит от пространственных параметров регистрирующей системы.

Оценка точности определения смещения головы оптоэлектронными средствами. Была проанализирована оценка точности определения смещения головы испытуемого с помощью предлагаемого комплекса. Пусть светодиод находится на расстоянии L от видеокамеры (рис. 3). Угол обзора камеры равен a. На данной глубине обзора область исследования имеет протяженность B (радиус перемещения объекта много меньше L).

Видеокамера представляет информацию с пространственным разрешением:

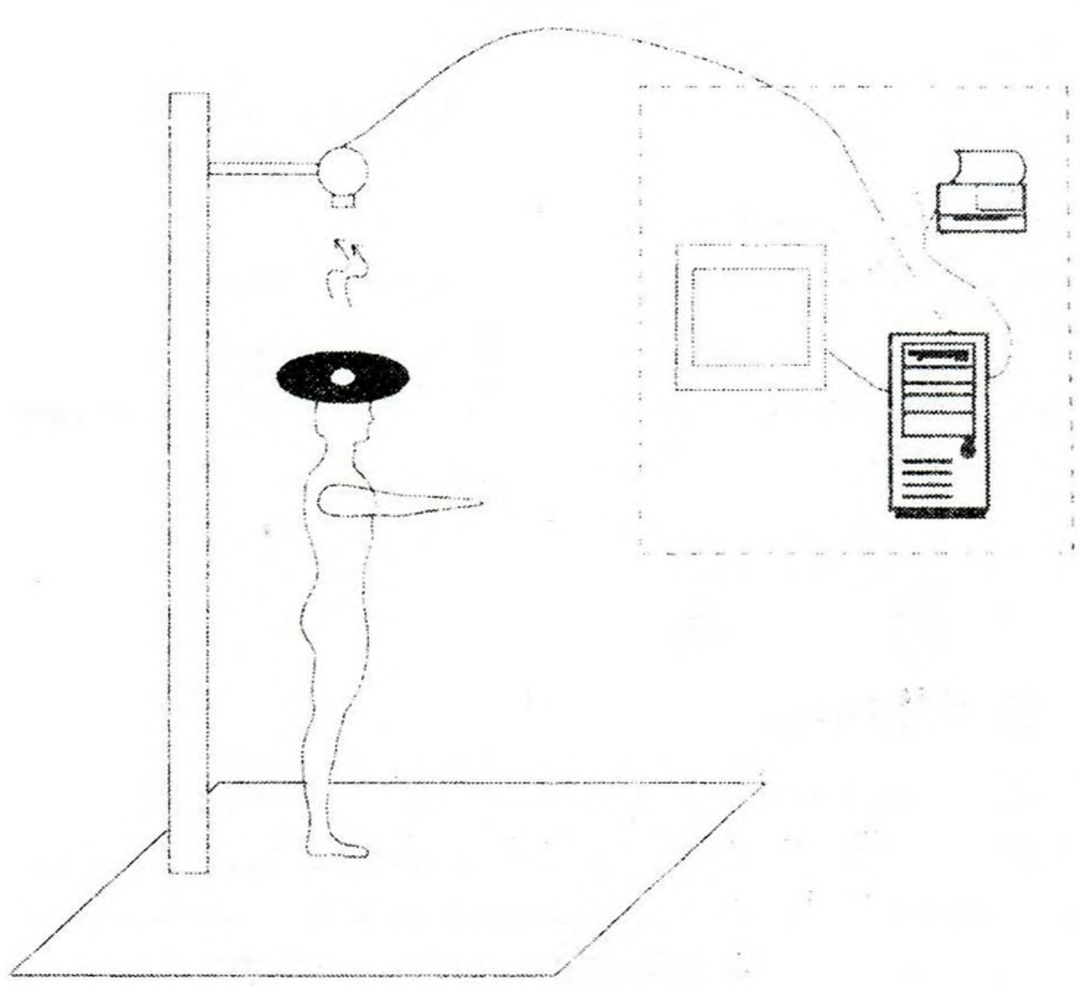


Рисунок 2.
Внешний вид программно-аппаратного комплекса "ElTik-02"

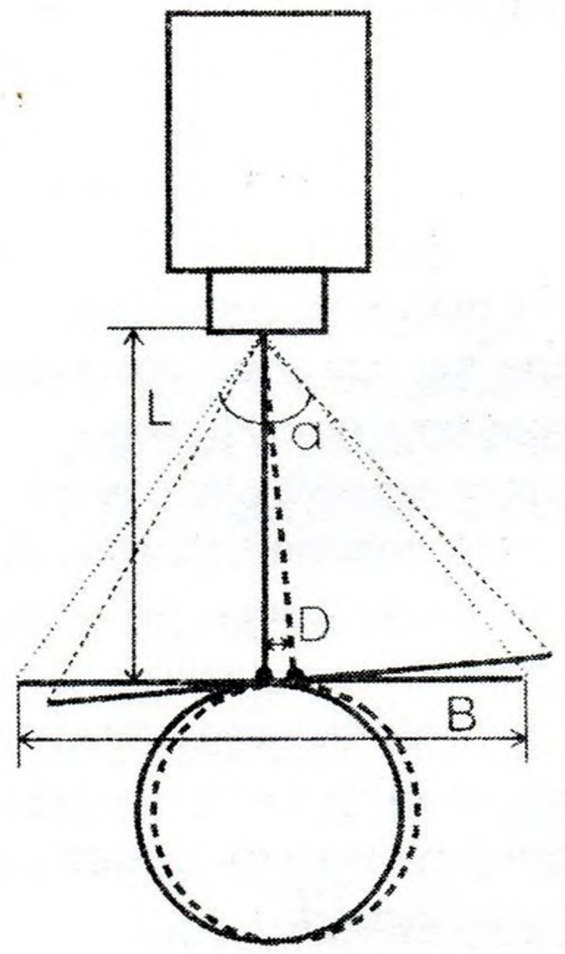


Рисунок 3.
Определение точности смещения излучателя, закрепленного на голове пациента

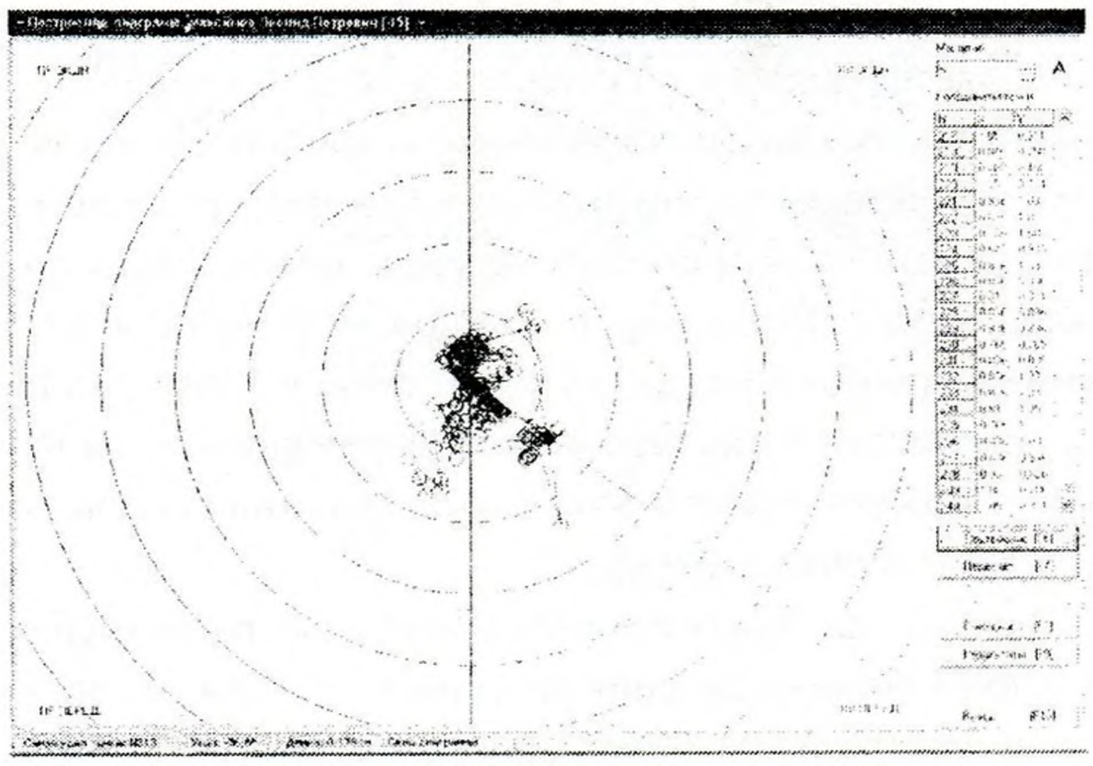


Рисунок 4.
Итоговая кефалограмма, полученная с помощью программно-аппаратного комплекса "ElTik-02"

$$\Delta = B / N ,$$

где N – количество пикселов в строке.

Смещение светодиода составляет величину:

$$D = \Delta \cdot n ,$$

где n – число пикселей, отображающих данное смещение, видимое под углом $\beta = \delta \cdot \alpha / 2$, где $\delta \le 1$ часть угла $\alpha / 2$):

Абсолютную погрешность измерения перемещения можно оценить так:

$$D = \Delta \cdot n = \frac{B \cdot n}{N} = \frac{2 \cdot L \cdot tg(\alpha / 2) \cdot n}{N} = \frac{2 \cdot L \cdot tg(\beta / \delta) \cdot n}{N}$$

Приращение (дифференциал) смещения светодиода определяется как:

$$dD = \frac{2 \cdot L \cdot tg(\alpha / 2)}{N} dn ,$$

следовательно погрешность определения размеров перемещения пропорциональна расстоянию до объекта наблюдения и связана с углом обзора.

Приведенная оценка погрешности показывает, что для получения более точных значений величин перемещения объекта наблюдения необходимо уменьшать расстояние до объекта наблюдения или выбирать видеокамеры с узким углом обзора (длиннофокусная камера), а также увеличивать размер строки матрицы изображения видеокамеры N.

Пример: расстояние наблюдения $L=20$ см, угол обзора $\alpha=90°$, размер строки матрицы изображения $N=256$ пикселов. Тогда погрешность определения размера смещения составит 0,15 см. Проведенная оценка показывает, что использование даже простейших видеокамер, позволяет получить удовлетворительную точность при определении смещения датчика положения головы.

Методика оптоэлектронной кефалографии. Кефалографические исследования с помощью электронного кефалографа "ЕПК-02" проводятся в стандартной позе Ромберга. Перед проведением исследований выполняется программная настройка параметров записи видеокамеры: работа в черно-белом режиме, длительность сеанса исследования, частота записи кадров. Специализированное программное средство позволяет:

– произвести запись видеоролика о перемещении излучателя в течение заданного времени;

– произвести раскадровку записанного видеоролика и получить отдельные файлы кадров;

— определить в каждом кадре координаты центра изображения излучателя (объект);

– сохранить таблицу координат всех объектов;

– построить итоговую кефалограмму;

– рассчитать коэффициент кефалографии (1);

– распечатать полученную кефалограмму.

Полученная итоговая кефалограмма представлена на рис. 4. Результаты оптоэлектронной кефалограммы и механической идентичны, что отражено на рис. 1

Методика обработки полученной информации. После записи видеоролика и его раскадровки создается массив отдельных стоп-кадров. Наличие такого массива позволяет в электронной кефалографии предложить не только традиционные средства обработки кефалограмм (построение итоговой кефалограммы и расчет коэффициента кефалографии), а и новые изучение траектории перемещения головы или определение преимущественного направления ее перемещения. Кроме того, возможность многократного воспроизведения траектории движения головы может иметь дальнейшее развитие с точки зрения диагностики — например, изучение периодичности определенных типов движений.

В данной реализации обработка полученной информации и построение итоговой кефалограммы выполняется следующим образом. Производится поточечный координатно-яркостный анализ каждого отдельного растрового бинарного файла (стоп-кадра) и определяются координаты центра точечного объекта на изображении. После такой последовательной обработки всех кадров создается новый файл с массивом координат объекта.

Отдельно формируется графический файл бланка кефалограммы с "линейкой" из концентрических окружностей. Затем производится последовательная выборка из файла с массивом координат и нанесение на бланк кефалограммы символа (кружок) текущего положения объекта. Таким образом, формируется электронная кефалограмма, по которой можно рассчитать коэффициент кефалографии. Наличие файла с последовательным массивом координат объекта позволяет создавать кинематическую кефалограмму, т.е. позволяет просматривать динамику перемещения головы.

Определение преимущественного направления отклонения головы выполняется путем обработки того же файла с последовательным массивом координат объекта. Первая (исходная) точка всегда расположена в центре диска на оголовнике (первый кадр), после определения координаты второй точки (второй кадр) от первой ко второй строится радиус-вектор, при получении координат третьей точки (третий кадр) строится следующий вектор от второй точки к третьей, а затем находится сумма двух векторов и т.д. В итоге получаем результирующий вектор преимущественного направления отклонения головы.

Методика обработки последовательного массива координат объекта может быть усовершенствована и далее, например, нахождение вектора преимущественного направления движения в каждом отдельном квадранте и т.п., в зависимости от потребности исследователя.

Сейчас в специализированном программном средстве электронного кефалографа реализованы такие дополнительные функции:

- построение итогового вектора направления отклонения головы;
- просмотр траектории движения точки по кефалограмме;
- перестройка кефалограммы относительно любой заданной точки.

В дополнение ко всему программное средство позволяет создавать и поддерживать базу данных проведенных обследований.

Выводы

Предлагаемый электронный кефалограф позволяет реализовать традиционную механическую кефалографию современными оптоэлектронными средствами, а также дополнительно обрабатывать полученную кефалограмму в автоматизированном режиме.

Если исследование с помощью механического кефалографа ранее проводились только в специализированных отоларингологических отделениях, то области применения электронного кефалографа могут быть значительно расширены: психиатрия, медицинская экспертиза, профилактические обследования.

Литература:

1. Базаров В.Г. Клиническая вестибулометрия. К.: Здоров'я. 1988. 200 с.
2. Терехов А.В. К задаче стабилизации вертикальной позы человека // Медицина и ... 2004. №1 (10). С.10-13.
3. Куницкий А.В. Программно-аппаратный комплекс контроля состояния вестибулярного аппарата // 9-й міжнародний молодіжний форум "Радіоелектроніка і молодь в XXI ст.": Зб. Матеріалів форуму. Харків: ХНУРЕ. 2005.-С.185.

Поступила в редколлегию 3.07.2006.