

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ УРОФЛОУМЕТРИИ В ДИАГНОСТИКЕ НАРУШЕНИЙ УРОДИНАМИКИ НИЖНИХ МОЧЕВЫХ ПУТЕЙ

*А.Е. Квятковский<sup>1</sup>, Е.А. Квятковский<sup>2</sup>, Т.А. Квятковская<sup>3</sup>, Н.В. Глухова<sup>4</sup>*

*Днепропетровская национальная металлургическая академия<sup>1</sup>*

*Городская клиническая больница № 9, г.Днепропетровск<sup>2</sup>*

*Днепропетровская государственная медицинская академия<sup>3</sup>*

*Днепропетровский национальный горный университет<sup>4</sup>*

Для диагностики заболеваний нижних мочевых путей применяются неинвазивные и инвазивные методы уродинамического исследования. Последние основаны на необходимости катетеризации мочевых путей и связаны с возможностью возникновения осложнений. Поэтому на первом этапе уродинамических исследований целесообразно применение урофлоуметрии, которая является неинвазивным методом и заключается в прямой графической регистрации объемной скорости потока мочи, выделенной при мочеиспускании [1-3].

В перспективе диагностическая ценность стандартной урофлоуметрии может возрасти в связи с внедрением в систему здравоохранения принципов семейной медицины. При достаточной автоматизации урофлоуметрического исследования, этот метод может быть использован для скринингового обследования мужчин и женщин с симптомами нижних мочевых путей, как врачами-урологами, так и в центрах первичной медико-санитарной помощи при первичном обследовании больных для объективизации жалоб и получения документального подтверждения нарушений уродинамики.

Несмотря на то, что метод является метрологически точным, анализ и трактовка параметров мочеиспускания не всегда однозначны в связи с трудностями объективного и субъективного характера [4,5]. Исходя из этого, предпринимаются попытки автоматизировать оценку урофлоуграфических кривых. Современные приборы для проведения урофлоуметрии позволяют регистрировать изменение объемной скорости во времени и автоматически определять важнейшие параметры уродинамики: объем выделенной мо-

чи, среднюю и максимальную объемную скорость, время мочеиспускания, мочеотделения, достижения максимального потока, ожидания мочеиспускания.

Для оптимизации процесса диагностики разработаны номограммы, учитывающие нелинейную зависимость показателей «объем / скорость» [5,6]. Например, автоматически определяется урофлоуметрический индекс, представляющий собой величину, которая вычисляется математической аппроксимацией номограммы Siroky [6]. Значения урофлоуметрического индекса UI трактуются следующим образом:

$UI > 1,1$  – норма;

$0,8 \leq UI \leq 1,1$  – необходимы дальнейшие исследования;

$UI < 0,8$  – патология.

Однако на практике нередко встречаются случаи, когда урофлоуметрические показатели, вычисленные на основании данных о параметрах уродинамики, находятся в пределах нормы, но детальный анализ особенностей графика зависимости объемной скорости от времени позволяет выявить отклонения от нормы. Качественная характеристика урофлоуграфических кривых позволяет получить дополнительную информацию.

Таким образом, при диагностике уродинамики нижних мочевых путей методом урофлоуметрии, необходимо выполнять анализ не только урофлоуметрических показателей (макропараметров), но и графика (локальных особенностей сигнала).

Цель исследования: разработка метода автоматической количественной и качественной

оценки урофлоуграмм путем их математической обработки.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Автоматизированная диагностика нарушений уродинамики реализована согласно схеме, представленной на рисунке 1.

При разработке автоматизированных средств диагностики использовались результаты урофлоуметрии с применением урофлоуметра

«Поток-К» (разработчик аппарата и программного обеспечения А.Е. Квятковский) [7-10].

Полученные при урофлоуметрии цифровые данные хранятся на диске компьютера в виде файла, содержащего результаты измерения объема выделенной мочи во времени, а также указанные в начале статьи числовые параметры уродинамики. Для анализа макропараметров применены методы нечеткой логики [11].

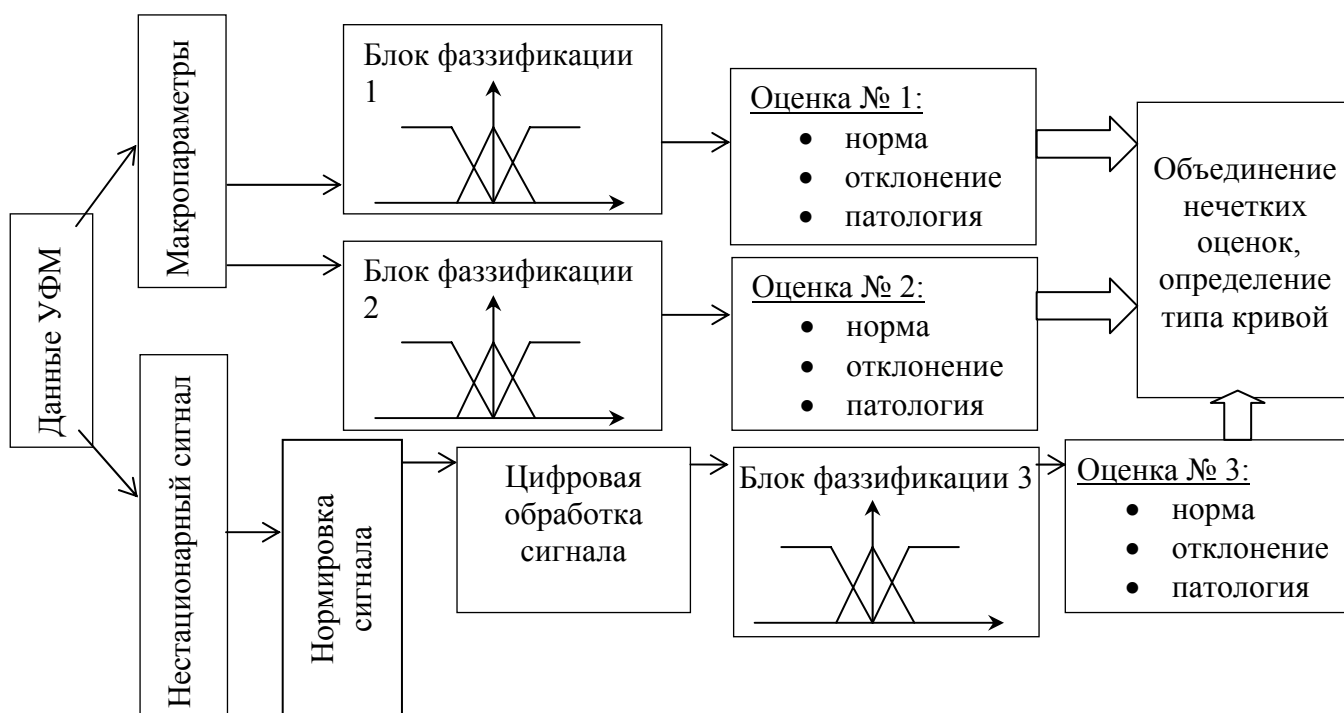


Рис. 1. Схема автоматизированной обработки данных урофлоуметрии

Результат анализа макропараметров представляет собой вычисление некоторого обобщенного показателя (индекса) путем применения номограмм или регрессионных зависимостей. Далее указываются числовые значения индекса, соответствующие определенному состоянию (норма, отклонения от нормы).

Известно несколько методик оценки урофлоуметрических показателей, каждому из которых соответствуют диапазоны возможных значений. Для того чтобы результат исследования был представлен в форме вывода (норма, откло-

нения от нормы и необходимость дальнейших исследований с целью уточнения состояния, патология), а не в виде абстрактных чисел – был использован метод фаззификации. Нечеткая логика (Fuzzy logic) – математический подход, позволяющий оперировать не цифрами, а лингвистическими переменными, нечеткими суждениями и выводами [12].

Исследования проведены на 64 пациентах: 54 мужчинах возрастом от 41 до 60 лет (38 – с доброкачественной гиперплазией предстательной железы, 12 – с простатитом, 4 – со склерозом

предстательной железы) и 10 женщинах возрастом от 37 до 60 лет с гиперактивным мочевым пузырем. В качестве нормы использованы урофлоуграммы 20 волонтеров возрастом от 34 до 60 лет без урологической патологии. Объем выделенной мочи составлял 150-350мл.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки урофлоуграфических кривых использован математический аппарат. Переход от числовых значений к лингвистическим переменным осуществлялся путем фазификации – определения степени принадлежности к нечеткому множеству. В этом случае результатом оценки макропараметров выступает не абстрактный числовой диапазон, а отнесение с определенной степенью принадлежности к одному из нечетких множеств.

В данном случае применялся треугольный вид функции принадлежности, который аналитически описывается следующим образом:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ 1 - \frac{x-b}{c-b}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

где  $a$  и  $b$  – граничные значения функций принадлежности.

Таким образом, на первом этапе решается задача отнесения кривой, полученной в результате урофлоуметрии, к одному из трех классов – «норма», «необходимость дальнейших исследований», «патологическое состояние».

Вторым этапом исследования уродинамики является более тонкая диагностика с выделением большего количества классов (различных типов кривых). Типирование урофлоуграмм различными исследователями по качественным показателям, основанное на сумме символьных признаков в конфигурации урофлоуграммы, имеет некоторые отличия и, как указывают авторы, не исключает наличие иных типов кривых [4,5]. По результатам урофлоуметрии, учитывая обобщенный вариант типирования, нами были исследованы шесть основных типов кривых, с вы-

сокой степенью вероятности соответствующих определенным состояниям: «норма», «обструктивное мочеиспускание» (обструкция уретры), «высокий старт» (жесткая обструкция уретры), «стремительное мочеиспускание» (гиперактивный мочевой пузырь), «прерывистое мочеиспускание» (несогласованность работы наружного сфинктера мочевого пузыря и уретры), «обструктивно-прерванное мочеиспускание» (декомпенсация детрузора обструктивного или нейрогенного генеза).

Автоматизированная диагностика для классификации по шести типам кривых реализована в среде графического программирования LabView [13] и строится по следующей схеме. Результаты урофлоуметрических измерений в виде точек зависимости объема мочеиспускания от времени в оцифрованном виде служат исходными данными. Далее путем цифровой фильтрации из исходной кривой выделяются высокочастотные составляющие, для которых вычисляются коэффициенты спектра мощности сигнала.

Пользователь может просматривать в различных масштабах графики исходной кривой, сглаженной кривой, график высокочастотных составляющих, график изменения значения коэффициентов спектра мощности в зависимости от частоты, сумму коэффициентов разложения, а также программно определяемый тип кривой (Рис.2).

Для высокочастотной составляющей урофлоуметрической кривой вычисляется сумма коэффициентов спектра мощности сигнала. Программная классификация по шести типам кривых реализована путем анализа значений этой суммы, а также следующих характерных особенностей каждого типа кривой: скоростные показатели; координата достижения максимального значения; максимальная амплитуда, присутствующая в высокочастотной составляющей сигнала.

Указанный анализ интегральных параметров урофлоуметрических кривых, а также учет локальных характеристик кривых позволили обеспечить программную классификацию шести типов урофлоуметрических кривых с показателями достоверности, представленными в таблице.

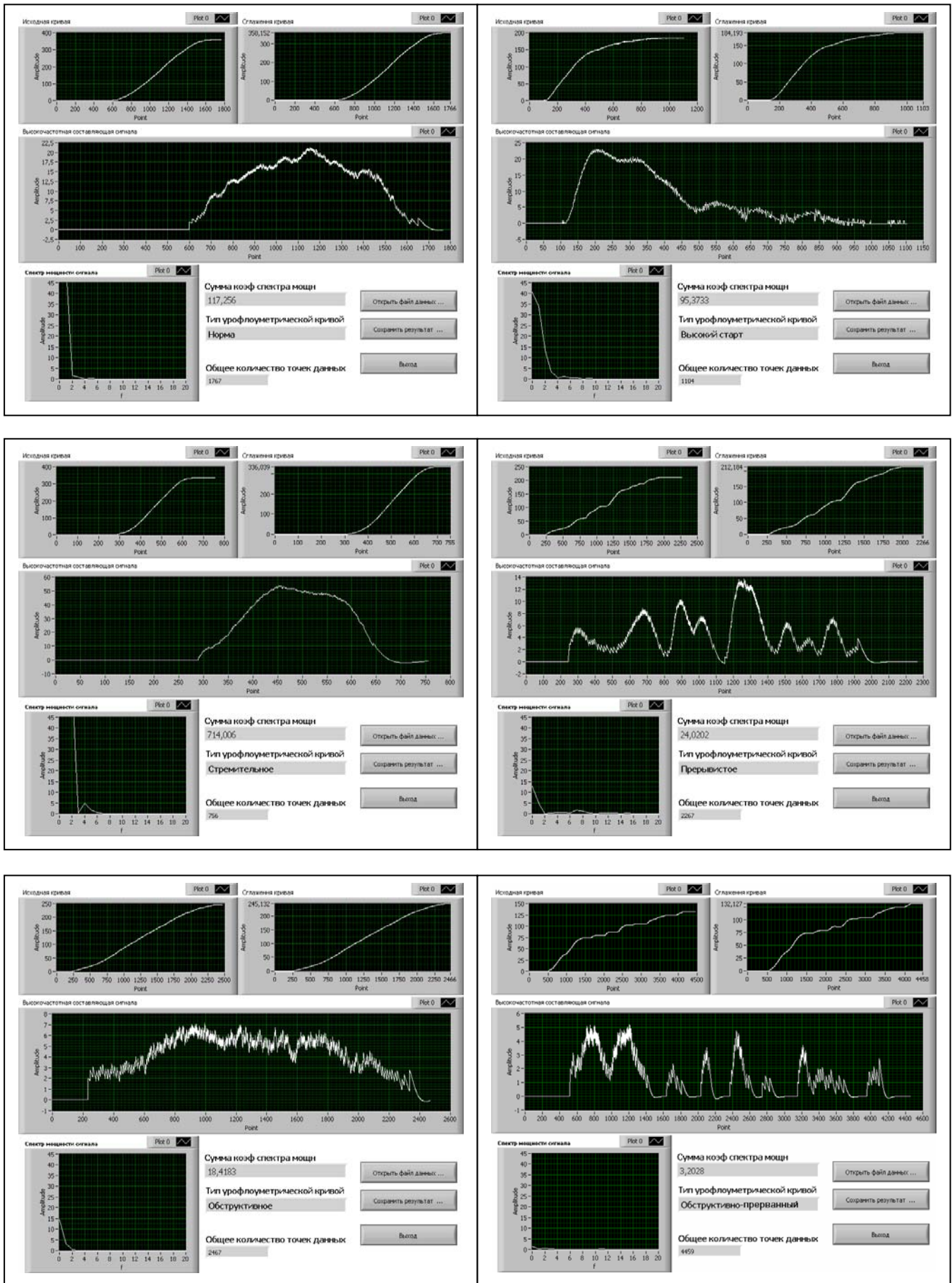


Рис. 2. Интерфейс пользователя прикладной программы для классификации шести типов урофлоуметрических кривых

## Показатели достоверности программной классификации

Общее количество анализируемых кривых	84	100%
Правильная классификация	63	75%
Ошибочная классификация	6	7%
Необходимость повторных исследований	15	18%

### ВЫВОДЫ

1. Предложенная автоматизированная диагностика нарушений уродинамики нижних мочевых путей позволяет выполнить программную классификацию типов урофлоуметрических кривых в следующих вариантах:

- «грубая классификация» – разделение результатов урофлоуметрических исследований на три группы («норма», «патология», «необходимы дальнейшие исследования»);
- классификация отдельных типов кривых.

### Список литературы

1. Пирогов В.О. Лікування нейрогенних дисфункцій сечового міхура у жінок у постменопаузі/ В.О. Пирогов., С.В. Нікітаєв // Урологія і нефрологія. – 2010. – № 3. – С. 42-45.
2. Пасечников С.П. Функциональное состояние нижних мочевых путей у больных аденомой предстательной железы: Автореф. дисс. канд. мед. наук. – Киев, 1978.
3. Зайцев В.И. Экспресс-диагностика функциональных нарушений уродинамики нижних мочевых путей / В.И. Зайцев // Урология и нефрология. – 1998. – № 6. – С. 29-32.
4. Россихин В.В. Урофлоуметрия при патологии нижних мочевых путей/ В.В. Россихин, В.Н. Лесовой, О.Г. Базаринский и др. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2004. – 128 с.
5. Вишневский Е.Л. Урофлоуметрия / Е.Л. Вишневский, Д.Ю. Пушкарь, О.Б. Лоран и др. – М.: Печатный Город, 2004. – 2004. – 220 с.
6. Haylen B.T. Maximum and average urine flow rates in normal male and female populations – the Liverpool Nomograms / B.T. Haylen, D. Ashby, J.R. Sutherst et al. // Brit. J. Urol. – 1989. – Vol. 64. – P. 30-38.
7. Siroky M.D. The Flow rate nomogram: II. Clinical correlation/ M.D. Siroky, C.A. Olsson, R.J. Krane // J. Urology. – 1980. – Vol. 123. – P. 208.
8. Квятковский О.Є. Комп'ютерна програма «Програмне забезпечення «Урофлоуметр «Поток-К»» Свідоцтво про реєстрацію авторського права № 30751 від 26.10.2009. Україна. Державний департамент інтелектуальної власності.
9. Квятковский А.Е. Первый опыт использования отечественного урофлоуметра в сочетании с УЗИ для определения нарушения уродинамики нижних мочевых путей/ А.Е. Квятковский, Е.А. Квятковская, Т.А. Квятковская // Науково-практична конференція «Актуальні питання ультразвукової діагностики. Сучасні технології в ультразвуковій діагностиці патології внутрішніх органів, судин та м'язів тканин». – Київ, 2009. – С. 247.
10. Квятковский А.Е. Первый опыт использования отечественного урофлоуметра для определения нарушений уродинамики нижних мочевых путей / А.Е. Квятковский, Е.А. Квятковская, Т.А. Квятковская // Здоровье мужчины. – 2009. – № 3. – С. 157-158.

2. Применение компьютерных методов цифровой обработки результатов урофлоуметрии позволит повысить эффективность скрининговых исследований путем выявления характерных особенностей нестационарного сигнала уродинамических исследований.

3. Проверка качества работы предложенного прикладного программного обеспечения на выборке экспериментальных данных доказала достаточный уровень достоверности полученных результатов для количественной и качественной автоматической оценки урофлоуграм и формулирования заключения, что может помочь врачу в дальнейшей тактике ведения больного и постановке диагноза на основании всей совокупности данных обследования больного.

4. Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов с другими лицами или организациями, которые могли бы повлиять на характер публикуемых данных.

11. Квятковская Т.А. Изменение параметров урофлоуметрии при доброкачественной гиперплазии предстательной железы / Т.А. Квятковская, Е.А. Квятковский, А.Е. Квятковский // Актуальні питання медицини. Матеріали міжрегіональної науково-методичної конференції. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 30-32.

12. Ротштейн А.П.. Медицинская диагностика на нечеткой логике / А.П. Ротштейн. Винница: Континент-ПРИМ, 1996. – 132 с.

13. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. / К. Асаи, Д. Вапада, С. Иваи и др.: под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

14. LabView в биомедицине. National Instruments Russia, CIS & Baltic. www.ni.com.

## Реферат

АВТОМАТИЗОВАНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ УРОФЛОУМЕТРІЇ В ДІАГНОСТИЦІ ПОРУШЕНЬ УРОДИНАМІКИ НИЖНІХ СЕЧОВИХ ШЛЯХІВ

О.Є. Квятковський, Є.А. Квятковський,  
Т.О. Квятковська, Н.В. Глухова

Проведено комп'ютерний кількісний і якісний аналіз урофлоуграм, одержаних за допомогою урофлоуметра «Поток-К», 64 хворих з симптомами нижніх сечових шляхів і 20 волонтерів без урологічної патології. Математична обробка результатів урофлоуметрії з застосуванням метода фазифікації дозволила з вірогідністю 75% виділити окремі групи: «норма», «патологія», «необхідні додаткові дослідження», та 6 основних типів кривих, що характеризують стан нижніх сечових шляхів. Автоматизована обробка результатів урофлоуметрії дозволяє оптимізувати скринінгові дослідження.

**Ключові слова:** урофлоуметрія, автоматизований аналіз.

## Summary

AUTOMATED HANDLING OF UROFLOWMETRY RESULTS IN THE DIAGNOSIS OF LOWER URINARY TRACT URODYNAMICS DISORDERS.

A.E. Kvyatkovsky, E.A. Kvyatkovsky,  
T.A. Kvyatkovskaya, N.V. Glukhova

Qualitative and quantitative computer analysis of uroflowgram, obtained by "Flow-K" uroflowmeter, was performed, for 64 patients with lower urinary tract symptoms and 20 volunteers without any urologic pathology. Mathematical analysis of uroflowmetry results using the fuzzification allowed to separate with a probability of 75% the individual groups: the "norm", "pathology", "more research is needed", and six basic types of curves that characterize the state of the lower urinary tract. Automated uroflowmetry data processing allows to optimize screening studies.

**Key words:** uroflowmetry, automated analysis.