

## Оценка эффективности распознавания лейкоцитов периферической крови при автоматическом сканировании изображений окрашенных мазков крови с переменным увеличением

### Аннотация

Сканер-анализаторы мазков крови являются новым перспективным направлением разработки приборов, предназначенных для исследований морфологии клеток крови. Выполнена оценка эффективности использования сканер-анализатора «Vision Nema<sup>®</sup> Ultimate» при подсчете лейкоцитарной формулы и идентификации ядросодержащих клеток крови. Среднее время анализа одного стеклопрепарата составило  $(108 \pm 17)''$ . Результаты анализа лейкоцитарной формулы, подсчитанной ручным способом и на приборе «Vision Nema<sup>®</sup> Ultimate», достоверно не различались ( $p > 0,05$ ) и практически совпали. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции Спирмена установлены для подсчета сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов и эозинофилов (0,9638; 0,9342 и 0,9172 %). Для моноцитов и базофилов значения коэффициентов были ниже и составили соответственно 0,9047 и 0,7613 %. Самые низкие значения коэффициентов корреляции обнаружены для незрелых клеток миелоидного ряда. Использование сканер-анализатора мазков крови «Vision Nema<sup>®</sup> Ultimate» позволяет с высокой скоростью и точностью выполнить подсчет лейкоцитарной формулы в мазке периферической крови.

Общий анализ крови (ОАК), включающий в себя подсчет различных групп лейкоцитов (лейкоцитарную формулу), является важным диагностическим тестом, характеризующим состояние здоровья человека [1]. Для выполнения ОАК широко используются гематологические анализаторы, основанные на различных неморфологических принципах идентификации клеток крови. Их применение позволяет определять количество форменных элементов крови, рассчитывать ряд клеточных индексов и, в некоторых моделях, выполнять дифференцированный подсчет пяти основных типов лейкоцитов (базофилы, эозинофилы, нейтрофилы, лимфоциты и моноциты) [2]. Существенным недостатком гематологических анализаторов является невозможность оценки ряда морфологических изменений клеток крови, например вида пойкилоцитоза, типа внутриэритроцитарных включений в эритроцитах или изменений в структуре цитоплазмы лейкоцитов. Еще больше проблем возникает из-за ненадежной классификации незрелых и атипичных форм лейкоцитов. Стандартным решением, применяющимся в приборах, является маркировка результатов, отклоняющихся от нормы, разными флагами. При их появлении сотрудники лаборатории принимают решение о подготовке окрашенных мазков периферической крови и исследовании при световой микроскопии. Таким образом, микроскопическое исследование окрашенного мазка периферической крови на сегодняшний день является «золотым стандартом» для оценки морфологических изменений клеток крови [3]. В литературе приводятся различные данные о частоте микроскопического анализа мазков крови после их предварительного анализа на гематологических анализаторах. Так, по данным Albert Schweitzer, Ziekenhuis Dordrecht (Нидерланды), приведенным в работе [4], в практической деятельности лаборатории около 21 % всех ОАК требуют подготовки мазка крови и его микроскопического анализа [4]. Следовательно, использование гематологических анализаторов не избавило сотрудников лаборатории от необходимости исследования морфологии клеток в окрашенном мазке крови.

Микроскопические исследования мазков периферической крови являются трудоемкими исследованиями, предполагающими высокую квалификацию сотрудников лаборатории [5]. Современный этап их развития – это создание гематологических сканер-анализаторов, позволяющих выполнять автоматическую идентификацию клеток в окрашенном мазке крови [6]. В последние десятилетия разработаны различные модели таких приборов [4], [7]-[15]. Предлагаемые приборы отличаются как по скорости анализа мазков крови, так и по правильности идентификации клеток. Появление новых моделей сканер-анализаторов требует проведения их сравнения с существующими моделями и результатами экспертной оценки сотрудниками лабораторий.

### Цель исследования

Оценить эффективность работы сканер-анализатора «Vision Nema<sup>®</sup> Ultimate» («West Medica», Австрия-Россия) при распознавании и идентификации ядросодержащих клеток крови.

### Материалы и методы

Автоматический анализатор мазков крови «Vision Nema<sup>®</sup> Ultimate» («VN Ultimate») представляет собой новый сканер-анализатор, предназначенный для исследования морфологии клеток в окрашенном мазке крови. Алгоритм его работы заключается в автоматическом сканировании окрашенного мазка крови при различных увеличениях. В зависимости от задания анализатор собирает изображения 100 или большего числа лейкоцитов, фотографии которых помещаются в галерею преклассифицированных изображений. При этом прибор выполняет автоматическую идентификацию клеток и помещает их изображения в соответствующие галереи фотографий.

Для оценки качества распознавания клеток крови были использованы 102 образца периферической крови (35 – норма и 67 – патология), исследование которых выполнялось в клинико-диагностических лабораториях (КДЛ) г. Перми. Среди исследованных образцов присутствовали пробы пациентов с различными характеристиками: нормальными значениями лейкоцитарной формулы ( $n = 35$ ), признаками бактериальной или вирусной инфекции ( $n = 32$ ), аллергического или паразитарного заболевания ( $n = 10$ ), остро или хронического лейкоза (соответственно  $n = 11$  и  $n = 14$ ). Лейкоцитоз у обследованных пациентов колебался в диапазоне  $0,2...312 \cdot 10^9/л$ .

Оценка работы сканер-анализатора мазков крови проводилась в соответствии с рекомендациями по подсчету лейкоцитарной формулы, разработанной для производителей лабораторного оборудования [16], [17].

Мазки периферической крови были приготовлены из образцов крови по стандартизованному протоколу [18]. Каждый мазок крови был проанализирован независимо двумя квалифицированными сотрудниками КДЛ, которые выполняли подсчет лейкоцитарной формулы с применением световой микроскопии (увеличение  $\times 1000$ ) в соответствии с международными стандартами [16], [17]. Затем мазки крови были проанализированы на приборе. Два результата были исключены из исследования из-за некорректных результатов анализа на сканер-анализаторе. В одном образце с лейкоцитопенией (лейкоцитоз  $0,2 \cdot 10^9/л$ ) прибор не смог собрать галерею из 100 лейкоцитов. Еще один образец мазка крови большого с тяжелой анемией (гемоглобин 29 г/л) был исключен, так как прибор автоматически не смог идентифицировать монослой эритроцитов из-за малого числа и сильной разреженности эритроцитов в мазке.

Для оценки эффективности работы прибора оценивали среднее время, затраченное прибором на сканирование одного стеклопрепарата (время сканирования мазка), и время, затрачиваемое сотрудником лаборатории на коррекцию и окончательное утверждение результатов исследования (время валидации). Полученные данные сравнивали со средним временем подсчета лейкоцитарной формулы на 100 клеток традиционным ручным методом. Различия между результатами исследований сканер-анализатора и ручного анализа экспертами оценивали с помощью критерия Вилкоксона. Для оценки корреляционной взаимосвязи применяли критерий *R* Спирмена. Для каждого типа клеток выполняли регрессионный анализ с расчетом уравнения линейной регрессии. Как критический уровень значимости было выбрано значение  $p < 0,05$ .

## Результаты

Результаты подсчета лейкоцитарной формулы в окрашенных мазках периферической крови ручным методом и сканер-анализатором приведены в *табл. 1*. Нами не выявлено различий между результатами подсчета клеток ручным методом и с помощью прибора.

При корреляционном анализе полученных результатов установлена тесная положительная взаимосвязь для всех групп клеток ( $R > 0,9$ ) (*табл. 2*). Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции установлены для сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов и эозинофилов (0,9638; 0,9342 и 0,9172 %) (*рис. 1*). При этом коэффициенты корреляции для данных групп клеток практически совпадали с приведенными в литературе

Таблица 1

Характеристика клеточного состава образцов крови, включенных в исследование ( $n = 100$ )

Тип клеток	Способ подсчета		<i>p</i>
	Ручной подсчет, %	Vision Hema® Ultimate, %	
Базофилы ( <i>BAS</i> )	$0,47 \pm 0,92$ 0 (0 – 0,8)	$0,54 \pm 0,96$ 0 (0 – 1)	0,0930
Эозинофилы ( <i>EOS</i> )	$2,58 \pm 4,71$ 1,3 (0 – 3,15)	$2,46 \pm 4,68$ 1 (0 – 3)	0,0857
Палочкоядерные нейтрофилы ( <i>BND</i> )	$4,7 \pm 5,4$ 2,65 (1,25 – 5,8)	$5,06 \pm 6,76$ 2 (1 – 6,5)	0,3338
Сегментоядерные нейтрофилы ( <i>SEG</i> )	$47,54 \pm 18,89$ 50,55 (37,05 – 59,9)	$47,24 \pm 19,8$ 50,5 (37 – 60)	0,1258
Лимфоциты ( <i>LYM</i> )	$30,98 \pm 16,42$ 30,4 (18,8 – 41,4)	$30,71 \pm 17,08$ 30,5 (19 – 41,5)	0,9833
Моноциты ( <i>MON</i> )	$5,38 \pm 2,72$ 5,15 (3,8 – 6,8)	$5,61 \pm 3,43$ 5 (3,5 – 7)	0,2282
Бласты ( <i>BLA</i> )	$6,58 \pm 21,78$ 0 (0 – 0)	$6,23 \pm 20,52$ 0 (0 – 0)	0,4265
Миелоциты ( <i>MYE</i> )	$1,18 \pm 3,9$ 0 (0 – 0,4)	$1,25 \pm 4,46$ 0 (0 – 0,5)	0,5998
Метамиелоциты ( <i>MET</i> )	$1,06 \pm 3,42$ 0 (0 – 0,25)	$0,91 \pm 3,29$ 0 (0 – 0)	0,1059
Незрелые нейтрофилы ( <i>IMM</i> )	$2,31 \pm 4,63$ 0 (0 – 2,3)	$2,41 \pm 5,37$ 0 (0 – 2)	0,5481
Эритробласты (нор-мобласты) ( <i>NRBC</i> )	$0,43 \pm 1,56$ 0 (0 – 0)	$0,5 \pm 1,86$ 0 (0 – 0)	0,2146

Примечание – В числителе: среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение ( $M \pm SD$ ); в знаменателе: медиана и интерквартильный диапазон ( $Me$ ; 25...75 % квартиль);  $p$  – по результатам расчета критерия Вилкоксона.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции (*R*) между ручным подсчетом и результатами исследования на различных сканер-анализаторах

Тип клеток	Наше исследование ( $p < 0,001$ )	Kratz A. et al., 2005 [20]	Ceelle H. et al., 2006 [4]	Brigs C. et al., 2009 [19]	Yu H. et al., 2012 [21]	Lee L. H. et al., 2013 [11]
Базофилы ( <i>BAS</i> )	0,7613	–	–	0,534	0,5592	0,7637
Эозинофилы ( <i>EOS</i> )	0,9172	0,73	0,846	0,672	0,7671	0,8821
Палочкоядерные нейтрофилы ( <i>BND</i> )	0,9019	0,6852	0,7961	–	0,8868	0,874
Сегментоядерные нейтрофилы ( <i>SEG</i> )	0,9638	0,8771	0,9528	–	–	0,9611
Лимфоциты ( <i>LYM</i> )	0,9342	0,9393	0,9405	0,9591	0,901	0,9547
Моноциты ( <i>MON</i> )	0,9047	0,6658	0,7004	0,805	0,8176	0,8316
Бласты ( <i>BLA</i> )	0,9696	–	0,984	0,9953	0,9769	0,9861
Миелоциты ( <i>MYE</i> )	0,9129	–	–	0,3709	–	0,8806
Метамиелоциты ( <i>MET</i> )	0,7346	–	–	0,9331	–	0,717
Незрелые нейтрофилы ( <i>IMM</i> )	0,9017	–	–	0,9514	0,9285	0,9064
Эритробласты ( <i>NRBC</i> )	0,8911	–	–	–	–	–

данными для других приборов, а в некоторых случаях даже превосходили эти значения [4], [11], [19], [20]. Для моноцитов и базофилов значения коэффициентов были несколько ниже и составили соответственно 0,9047 и 0,7613 %. Коэффициент корреляции для моноцитов составил 0,9047 % и превзошел значения, приведенные в других исследованиях [4], [11], [19]-[21]. Коэффициент корреляции для базофилов составил 0,7613 % и был выше, чем коэффициенты, приведенные в работах Brigs С., Yu Н. [19], [21], но несколько ниже, чем в публикации Lee L.H. [11].

Самые низкие значения коэффициентов корреляции обнаружены для незрелых клеток миелоидного ряда – метамиелоцитов (0,7346 %), в отличие от них миелоциты системой распознавались более правильно ( $R$  соответственно 0,7346 и 0,9129 %) (рис. 2). В доступных публикациях приведены различные коэффициенты корреляции для этих типов клеток [11], [19]. Наши

результаты при сравнении с ними занимают промежуточное положение.

В целом анализ динамики коэффициентов корреляции между автоматическим и ручным подсчетами различных клеток крови демонстрирует четкую тенденцию к увеличению корреляционной взаимосвязи между ними. Результаты выполненных исследований характеризуют автоматический анализатор «VH Ultimate» как надежный прибор, позволяющий с высокой эффективностью распознавать различные типы клеток в окрашенном мазке периферической крови. При оценке временных затрат при использовании «VH Ultimate» установлено, что среднее время сканирования одного стеклопрепарата составило около 2 мин  $[(108 \pm 17)'']$ , при этом 35 с система тратила на замену стеклопрепарата и считывание штрих-кода. На сам процесс сканирования уходило примерно 1,5 мин.

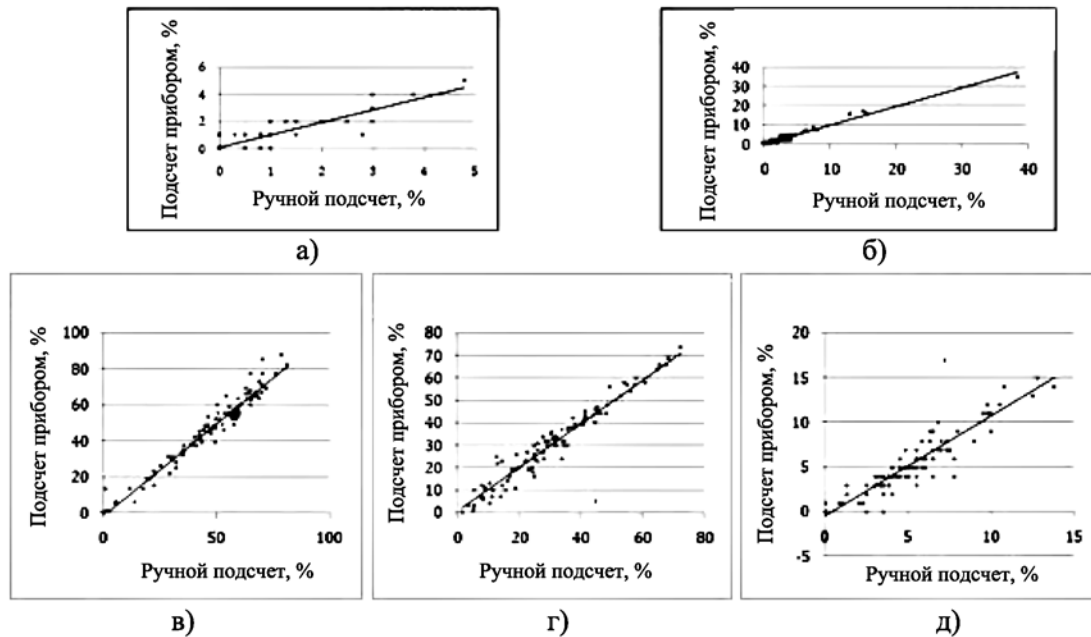


Рис. 1. Графики корреляционной зависимости между ручным подсчетом зрелых лейкоцитов и их распознаванием сканер-анализатором «Vision Hema® Ultimate» («West Medica», Австрия-Россия): а) базофилы; б) эозинофилы; в) сегментоядерные нейтрофилы; г) лимфоциты; д) моноциты

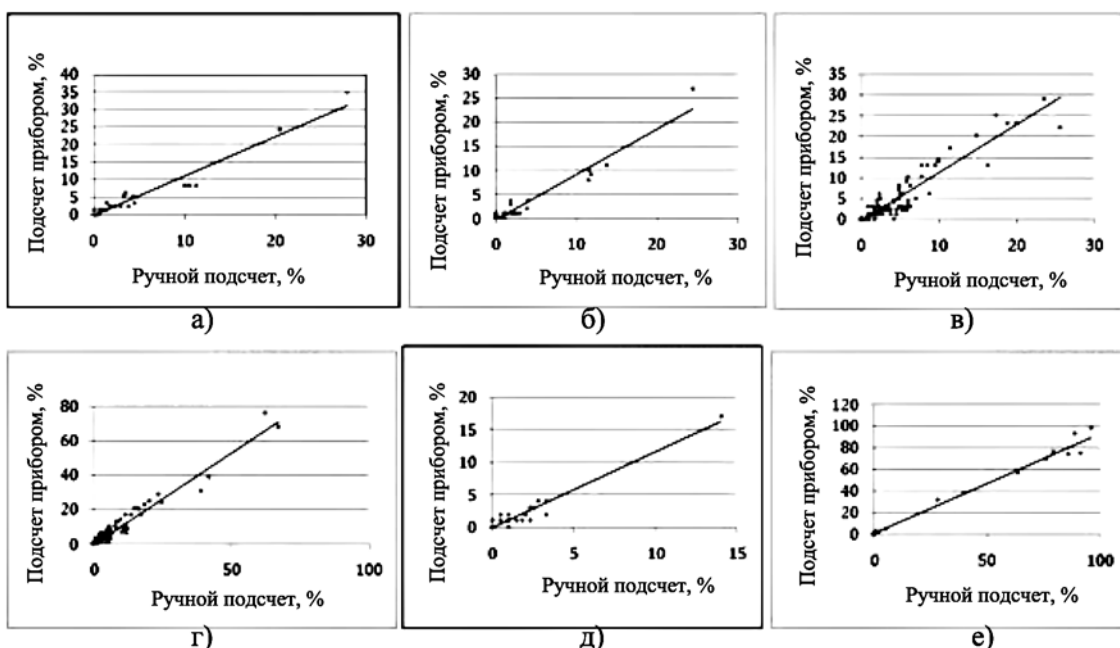


Рис. 2. Графики корреляционной зависимости между ручным подсчетом незрелых клеток и их распознаванием сканер-анализатором «Vision Hema® Ultimate» («West Medica», Австрия-Россия): а) миелоциты; б) метамиелоциты; в) палочкоядерные нейтрофилы; г) все типы незрелых нейтрофилов; д) эритробласты; е) бласты

Увеличение числа лейкоцитов в мазке существенно не увеличивало скорость анализа мазка (табл. 3). Достоверное увеличение времени отмечено лишь при подсчете образцов с лейкопенией.

Сотрудник затрачивал на валидацию результатов одной пробы, проанализированной на автоматическом анализаторе «VN Ultimate», около 25...30 с. Процесс сканирования препаратов и работа сотрудника лаборатории не мешают друг другу и могут выполняться одновременно; учитывая это, в течение одной рабочей смены (8 ч) на системе может быть проанализировано примерно 240 мазков, при этом рабочее время сотрудника, необходимое для валидации результатов «Vision Nema® Ultimate», составляет примерно 2 ч.

При оценке затрат времени сотрудником лаборатории при ручном подсчете лейкоцитарной формулы установлены значительно большие затраты времени на подсчет лейкоцитарной формулы (табл. 3). В среднем при ручном подсчете лейкоцитарной формулы сотрудник лаборатории затрачивал в 2 раза больше времени, чем сканер-анализатор. Еще большие различия отмечены при сравнении с временем, затрачиваемым сотрудником только на валидацию результатов, подготовленных прибором. Таким образом, использование автоматического анализатора мазка крови резко увеличивает эффективность работы сотрудников лаборатории.

### Обсуждение

Подсчет лейкоцитарной формулы анализатором «Vision Nema® Ultimate» продемонстрировал отсутствие различий и тесную корреляционную взаимосвязь с результатами микроскопического исследования сотрудником лаборатории ( $R > 0,9$ ).

Первые модели автоматических анализаторов мазков крови предъявляли высокие требования к стандартизации технологии подготовки мазков крови, характеризовались медленной работой и недостаточно правильной идентификацией клеток, что затрудняло их использование в практической работе лабораторий. В настоящее время данные приборы достигли такого развития, что стали отвечать требованиям современной гематологической лаборатории с точки зрения надежности и эффективности выполнения анализа крови. Внедрение таких систем в практику лабораторий ведет к снижению напряжения персонала, улучшению условий труда, что в итоге повышает эффективность исследований за счет высвобождения времени для более тщательного анализа патологических мазков крови. Использование компьютерных технологий для документирования и сохранения в памяти компьютера результатов всех исследований позволяет объективизировать результаты исследования. При необходимости они могут быть предъявлены для повторной оценки экспертам.

Таким образом, использование автоматических систем анализа мазков крови предлагает новый, более объективный стандарт микроскопических исследований, который является более достоверным, чем традиционная ручная микроскопия мазков крови.

### Список литературы:

1. Pierre R.V. Peripheral blood film review. The demise of the eye count leukocyte differential // Clin. Lab. Med. 2002. Vol. 22. № 1. PP. 279-297.
2. Chabot-Richards D.S., George T.I. White blood cell counts: Reference methodology // Clin. Lab. Med. 2015. Vol. 35. № 1. PP. 11-24.
3. Da Costa L. Digital image analysis of blood cells // Clin. Lab. Med. 2015. Vol. 35. № 1. PP. 105-122.
4. Ceelie H., Dinkelaar R.B., van Gelder W. Examination of peripheral blood films using automated microscopy. Evaluation of Diffmaster Octavia and Cellavision DM 96 // J. Clin. Pathol. 2006. Vol. 60. PP. 72-79.
5. Koepke J.A., Dotson M.A., Shifman M.A. A critical evaluation of the manual/visual differential leukocyte counting method // Blood Cells. 1985. Vol. 11. № 2. PP. 173-186.
6. Green R., Wachsmann-Hogiu S. Development, history and future of automated cell counters // Clin. Lab. Med. 2015. Vol. 35. № 1. PP. 1-10.
7. Медовый В.С., Парпара А.А., Пятницкий А.М., Соколинский Б.З. Роботизированная микроскопия внедряет стандарт качества анализа мазков крови // Клиническая лабораторная диагностика. 2009. № 9. С. 40-44.
8. Медовый В.С., Пятницкий А.М., Соколинский Б.З., Балугян Р.Ш. Современные возможности роботизированной микроскопии в автоматизации анализов и лабораторной телемедицине (аналитический обзор) // Клиническая лабораторная диагностика. 2012. № 10. С. 32, 41-43.
9. Плясунова С.А., Балугян Р.Ш., Хмельницкий К.Е., Медовый В.С., Парпара А.А., Пятницкий А.М., Соколинский Б.З., Демьянов В.Л., Николаенко Д.С. Автоматизированные методики микроскопических анализов мазков крови – медицинские испытания комплекса МЕКОС-Ц2 // Клини. лаб. диагн. 2006. № 10. С. 21-24, 33-39.
10. Соснин Д.Ю., Ненашева О.Ю., Фалков Б.Ф., Трушева Л.А. Влияние подготовки мазка крови на эффективность работы цифровой системы автоматизированного анализа Vision Nema // Клини. лаб. диагн. 2013. № 4. С. 17-20.
11. Lee L.H, Mansoor A., Wood B., Nelson H., Higa D., Naugler C. Performance of CellaVision DM96 in leukocyte classification // J. Pathol. Inform. 2013. Vol. 4. PP. 14.
12. Smits S.M., Leyte A. Clinical performance evaluation of the CellaVision Image Capture System in the white blood cell differential on peripheral blood smears // J. Clin. Pathol. 2014. Vol. 67. № 2. PP. 168-172.
13. Surcouf C., Delaune D., Samson T., Foissaud V. Automated cell recognition in hematology: CellaVision DM96 TM system [Article in French] // Ann. Biol. Clin. (Paris). 2009. Vol. 67. № 4. PP. 419-424.

Таблица 3

**Время автоматического подсчета системой «Vision Nema® Ultimate» лейкоцитарной формулы на 100 клеток в мазках крови (M ± SD)**

№ п/п	Группы обследованных	n	Способ подсчета	
			Vision Nema® Ultimate	Ручной подсчет
1	Пациенты с лейкопенией (лейкоцитоз < 4 · 10 <sup>9</sup> /л)	7	2:36 ± 2:29* 2:32 – 5:04 (p = 0,00001)	10:58 ± 7:32 8:42 – 19:04
2	Пациенты с нормальным лейкоцитозом (лейкоцитоз 4...9 · 10 <sup>9</sup> /л)	41	1:56 ± 0:19 1:49 – 2:04	3:13 ± 0:45 2:37 – 2:04
3	Пациенты с умеренным лейкоцитозом (лейкоцитоз 9...30 · 10 <sup>9</sup> /л)	29	1:48 ± 0:20 1:45 – 2:03	2:54 ± 0:47 2:33 – 1:47
4	Пациенты с резким лейкоцитозом (> 30 · 10 <sup>9</sup> /л)	23	1:42 ± 0:19 1:41 – 1:59	2:11 ± 0:34 1:49 – 2:04

Примечание – В числителе результаты в виде M ± SD (мин:с), в знаменателе Мин – Макс (мин:с);  
\* – достоверное различие по критерию Вилкоксона.

14. *VanVranken S.J., Patterson E.S., Rudmann S.V., Waller K.V.* A survey study of benefits and limitations of using CellaVision DM96 for peripheral blood differentials // *Clin. Lab. Sci.* 2014. Winter. Vol. 27. № 1. PP. 32-39.
15. *Yamamoto T., Tabe Y., Ishii K., Itoh S., Maeno I., Matsumoto K., Horii T., Miida T., Ohsaka A.* Performance evaluation of the CellaVision DM96 system in WBC differentials [Article in Japanese] // *Rinsho. Byori.* 2010. Vol. 58. № 9. PP. 884-890.
16. CLSI H20-A Reference Leukocyte Differential Count (Proportional) and Evaluation of Instrumental Methods / Approved Standard. March 1992. Vol. 12. № 1.
17. CLSI H20-A2 Reference Leukocyte (WBC) Differential Count (Proportional) and Evaluation of Instrumental Methods / Approved Standard. January 2007. Vol. 27. № 4.
18. *Соснин Д.Ю., Фалков Б.Ф., Ненашева О.Ю.* Оценка правильности распознавания клеток системой автоматического анализа крови Vision Hema // *Уральский медицинский журнал.* 2012. № 13 (105). С. 131-135, 140.
19. *Briggs C., Longair I., Slavik M., Thwaite K., Mills R., Thavaraja V., Foster A., Romanin D., Machin S.J.* Can automated blood film analysis replace the manual differential? An evaluation of the CellaVision DM96 automated image analysis system // *Int. J. Lab. Hematol.* 2009. Vol. 31. № 17. PP. 48-60.
20. *Kratz A., Bengtsson H.I., Casey J.E., Keefe J.M., Beatrice G.H., Grzybek D.Y., Lewandowski K.B., van Cott E.M.* Performance evaluation of the CellaVision DM96 system: WBC differentials by automated digital image analysis supported by an artificial neural network // *Am. J. Clin. Pathol.* 2005. Vol. 124. № 5. PP. 770-781.
21. *Yu H., Ok C.Y., Hesse A., Nordell P., Connor D., Sjostedt E., Pechet L., Snyder L.M.* Evaluation of an automated digital imaging system, Next slide Digital Review Network, for examination of peripheral blood smears // *Arch. Pathol. Lab. Med.* 2012. Vol. 136. № 6. PP. 660-667.

*Дмитрий Юрьевич Соснин,*  
*д-р мед. наук, доцент,*  
*кафедра клинической лабораторной*  
*диагностики ДПО,*  
*ФГБОУ ВО «ПГМУ им. акад. Е.А. Вагнера»*  
*Минздрава России,*  
*Лилия Станиславовна Онянова,*  
*руководитель лабораторного отдела,*  
*ООО «West Medica»,*  
*Олег Георгиевич Кубарев,*  
*ординатор кафедры,*  
*Елена Викторовна Козоногова,*  
*аспирант,*  
*ФГБОУ ВО «Пермский национальный*  
*исследовательский политехнический университет»,*  
*г. Пермь,*  
*e-mail: sosnin\_dm@mail.ru*

*С.М. Яцун, А.С. Яцун, А.Н. Рукавицын, Е.Н. Политов*

## **Новые подходы к реабилитации голеностопного сустава с помощью механотерапевтического устройства**

### **Аннотация**

Представлены результаты разработки механотерапевтического устройства (МТУ) для двигательной реабилитации голеностопного сустава (ГС). Описаны основные подходы, применяемые для проектирования устройства, а также результаты исследования движения в ГС, совершаемого при помощи МТУ.

### **Введение**

Процесс эволюции человека сопряжен с формированием прямохождения. Прямоходящий скелет позволяет человеку передвигаться, а это предопределяет повышенные нагрузки на суставы нижних конечностей, в том числе и на голеностоп. ГС – сложное анатомическое образование, состоящее из сочленяющихся большеберцовой, малоберцовой и таранной костей. Повреждения ГС возникают не только у активных, занимающихся спортом людей, но и у тех, кто ведет малоподвижный образ жизни. Травмы ГС составляют от 12,0 до 20,0 % всех повреждений опорно-двигательного аппарата, из них в 12...39,8 % случаев наблюдаются неудовлетворительные исходы терапии и последующая нетрудоспособность, которая может длиться от 4 до 8 месяцев [1].

Несмотря на достижения современной травматологии и ортопедии, проблема профилактики постиммобилизационных осложнений и оптимизации сроков восстановления функции поврежденной конечности решена не полностью. Лечебная физическая культура (ЛФК) как одно из направлений физической реабилитации на ранних сроках после оперативного лечения ГС часто имеет достаточно ограниченный характер ввиду отсутствия современных эффективных средств механотерапии [2].

В последние годы на рынке механотерапевтических аппаратов достаточно широко представлены устройства различных производителей, в том числе серии аппаратов пассивной реабилитации нижних конечностей: «ARTROMOT», «ORMED», «Fisiotek», СРМ, «Kinetec» и др. [3]. Данные МТУ являются стационарными и применяются для восстановления подвижности в суставах, а также для предотвращения осложнений (контрактура, анкилоз, мышечная атрофия), связанных с длительной неподвижностью. В процессе реабилитации такие МТУ «заставляют» суставы сгибаться на заранее заданный угол без активного участия мышц пациента. В то же время они не могут обеспечить заданную физическую нагрузку на ГС в процессе ходьбы, полностью отказаться от которой невозможно по ряду причин.

Вопросы разработки инновационных механотерапевтических аппаратов и специальных тренажеров (как в раздельном, так и в комплексном вариантах использования) для активно-пассивного воздействия на ГС с целью сокращения сроков восстановления функциональных возможностей в суставе остаются открытыми.

### **Материалы и методы**

Восстановление функции ГС напрямую зависит от вида повреждения, этиологии и патогенеза нозологической формы