

УДК 616.31+004.421

## ПРОГРАММНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСАДКИ И НАБУХАНИЯ ОБРАЗЦОВ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ОТТИСКНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Арутюнов С.Д., Муслов С.А., Сакиева З.В., Пивоваров А.А.,  
Арутюнов Д.С., Деев М.С., Балоян А.Б.**

*ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава РФ, Москва, e-mail: muslov@mail.ru*

Предложен метод оценки деформаций при усадке и набухании стоматологических оттискных материалов, возникающих при различных условиях и времени хранения оттисков, а также после химического воздействия при дезинфекции. Такие деформации являются крайне нежелательными, поскольку снижают размерную стабильность оттисков и качество протезирования. Помимо мониторинга линейных размеров и площади осевых сечений оттисков, а также их объема рекомендован к применению коэффициент анизотропии, отражающий различия в тенденциях к изменению размеров образца в различных направлениях. Решение выполнено с помощью системы компьютерной алгебры Mathcad. В итоге разработан программный алгоритм, позволяющий определять в автоматическом режиме все параметры изменения геометрии (размеров и формы) стоматологических оттисков с высокой точностью. Усадка и набухание образцов обсуждаются в терминах явлений синерезиса и имбибиции, характерных, как известно, для водных дисперсных сред (гелей и студней).

**Ключевые слова:** стоматологические оттискные материалы, размерная стабильность, усадка, набухание

## SOFTWARE MEASUREMENT OF SHRINKAGE AND SWELLING PARAMETERS OF DENTAL IMPRESSION MATERIALS SAMPLES

**Arutyunov S.D., Muslov S.A., Sakieva Z.V., Pivovarov A.A., Arutyunov D.S.,  
Deev M.S., Baloyan A.B.**

*A.I. Evdokimov Moscow State Medical Stomatological University, Moscow, e-mail: muslov@mail.ru*

A method for estimating deformation shrinkage and swelling of dental impression materials that occur under different conditions and time of storage of impressions, as well as after chemical exposure during disinfection are proposed. Such deformations are highly undesirable as they reduce the dimensional stability of the impressions and the quality of the prosthesis. In addition to monitoring the linear dimensions and area of the axial sections of the impressions, as well as their volume is recommended to use the coefficient of anisotropy, reflecting differences in tendencies to change the size of the sample in different directions. The decision has been implemented using the computer algebra system Mathcad. In the end, has developed a software algorithm to determine in an automatic mode, all settings changes the geometry (size and shape) dental impressions with high accuracy. Shrinkage and swelling of the samples are discussed in terms of the effects of syneresis and imbibition characteristic, as is known, aqueous dispersed media (gels and jellies).

**Keywords:** dental impression materials, dimensional stability, shrinkage, swelling

Одной из актуальных задач современного материаловедения, в том числе стоматологического, является создание принципиально новых материалов, способных проявлять программируемые, а значит, существенно нелинейные деформационные свойства вплоть до получения адаптивной приспособительной реакции на внешнее воздействие. Решение такого типа вопросов должно лежать через теоретическое изучение структурных уровней реализации деформационного поведения – макро-, мезо-, микроскопических [6] и, конечно, экспериментальные исследования с последующим подробным численным анализом.

**Цель исследования.** К разряду нерешенных проблем относятся вопросы деформационного поведения материалов, подверженных явлениям синерезиса (де-

гидрации – самопроизвольного уменьшения объема студней или гелей, сопровождающегося отделением жидкости, классический пример – «отстаивание» простокваши) и имбибиции (набухания вследствие пропитывания средой другой субстанцией) [5]. Стоматологические оттискные материалы также испытывают эти явления. Поэтому разработка критериев их деформации и анализ эволюции формы и размеров данных материалов при различных условиях хранения, а также после дезинфекционных мероприятий представляют собой актуальную задачу.

### Результаты исследования и их обсуждение

Относительные изменения линейных размеров и площади осевого сечения

образцов из оттисковых материалов до и после усадки являются важными параметром процессов синерезиса и имbibии, протекающих в этих образцах, очевидно, более информативными, чем критерии, вычисленные на основании измерений массы образцов. Хотя как раз такие измерения традиционно доминировали в ранней мировой литературе, посвященной данным вопросам. Именно деформации усадки и набухания снижают размерную стабильность оттисков и качество ортопедического лечения.

Также представляет определенный интерес показатель, характеризующий количественные различия в усадке/набухании образцов в зависимости от направления по отношению к осям симметрии образцов, если таковые имеются. Например, в случае образцов П-образной формы усадка в радиальном направлении (по радиусу), выраженная в процентах, может быть меньше или больше, чем усадка в осевом направлении (по высоте) [7].

Этот параметр может рассматриваться как некий коэффициент анизотропии процесса усадки/набухания, поскольку он отражает различия в тенденциях к изменению размеров образца в виде прямого кругового цилиндра из оттисковой массы по двум взаимно перпендикулярным направлениям, проведенным через геометрический центр цилиндра, одно из которых совпадает с осью цилиндра. В случае образца П-образной формы из альгинатного материала коэффициент анизотропии меньше единицы. Это свидетельствует о том, что усадочные процессы в радиальном направлении образца протекают менее интенсивно, чем по оси. Этот факт требует определенного осмысления и проведения дополнительных опытов и, на наш взгляд, может стать объектом дальнейших исследований. Возможно, он является неким артефактом, связанным с тем, что деформации образца в осевом направлении обусловлены также наличием силы тяжести, действующей на образец, как известно, всегда вертикально вниз. Тем не менее предложенный параметр, несомненно, может быть полезен при анализе процессов синерезиса и имbibии в образцах стоматологических оттисковых материалов, например, в зависимости от условий и сроков хранения или от режимов химической обработки в целях дезинфекции оттисков. Как известно, дезинфекция является актуальной и нерешенной проблемой стоматологии, а инфекционному контролю постоянно уделяется большое внимание [1–4, 10].

На стоматологическом приеме всегда имеется достаточно высокий риск передачи инфекции через инструменты, оттиски зубных рядов, зубные протезы, контактирующие с полостью рта, особенно на этапах их изготовления или при передаче в зуботехническую лабораторию [9].

Отметим также, что введенный нами коэффициент анизотропии материалов при усадке/набухании  $A = \frac{\Delta d/d}{\Delta h/h}$  в некотором

смысле подобен другому материальному параметру деформируемых тел – коэффициенту поперечной деформации, известному

также как коэффициент Пуассона  $\mu = -\frac{\Delta d/d}{\Delta h/h}$

[11]. Видно, что в отличие от коэффициента Пуассона расчетная формула для коэффициента анизотропии не содержит знака минус. Тем не менее коэффициент А также выше нуля, как и коэффициент Пуассона, поскольку, например, в опыте с образцом из альгинатного материала усадка имеет место в обоих выбранных направлениях образца и относительная деформация отрицательна также в обоих направлениях (то есть одного знака). В плане отличий предложенного для анализа деформаций оттисков коэффициента анизотропии от коэффициента Пуассона отметим, что коэффициент поперечной деформации для «обычных» материалов не может быть выше 0,5, а у большинства конструктивных материалов значения  $\mu$  колеблются в пределах 0,2–0,4 [6]. Что касается границ изменения коэффициента анизотропии, этот вопрос требует дополнительных детальных исследований для всей гаммы существующих оттисковых материалов и образцов различной формы.

Программный алгоритм измерения параметров усадки и набухания образцов стоматологических оттисковых материалов был разработан в системе компьютерной алгебры Mathcad 15 («Math» – Mathematics, математика, «cad» – computer aided design, система автоматического проектирования, САПР) [8]. Математический процессор Mathcad в своем арсенале имеет инструменты для чтения и отображения файлов изображений, а именно команду READBMP («File»). Она может считывать изображения в оттенках серого цвета из файла. Это позволяет после импорта изображений из 3D сканера получить для дальнейшей обработки массивы целых чисел от 0 до 255, а также рассчитать размеры и параметры деформации оттисков (рисунок).

$$\frac{d2 - d1}{d1} \cdot 100 = -9,444$$

Усадка по диаметру, %

$$\frac{h2 - h1}{h1} \cdot 100 = -10,734$$

Усадка по высоте, %

$$\frac{\text{squareAfterPx} - \text{squareBeforePx}}{\text{squareBeforePx}} \cdot 100 = -18,906$$

Усадка по площади, %

$$\left( \frac{\text{squareAfterPx} - \text{squareBeforePx}}{\text{squareBeforePx}} + \frac{h2 - h1}{h1} \right) \cdot 100 = -29,64$$

Усадка по объему, %

$$\text{Ratio} := \frac{d2 - d1}{h2 - h1} = 0,895$$

Коэффициент анизотропии усадки

*Заключительный фрагмент листинга программы, позволяющей в автоматическом режиме определять базовые размеры образцов стоматологических оттисков и вычислять основные параметры их усадки/набухания*

Проценты усадки оттиска из альгинатного материала по всем рассчитанным параметрам полностью соответствовали значениям, полученным при вычислениях с помощью другой примененной нами универсальной программы – графического редактора Adobe Photoshop. Вычисления здесь производились вручную и были достаточно рутинными. Исключение составили расчеты в программе анализа медико-биологических изображений ImageJ. Однако они касались только площади осевого сечения оттисков.

### Выводы

Предложен ряд основных критериев анализа деформации при усадке/набухании образцов, среди которых следует выделить коэффициент анизотропии сопутствующих процессов синерезиса/имбибиции в стоматологических оттискных материалах.

Разработан программный алгоритм, позволяющий определять в автоматическом режиме все параметры изменения геометрии – размеров и формы стоматологических оттисков с высокой точностью.

Следующим этапом работы должно стать обоснование численных значений критериев размерной стабильности оттискных материалов, превышение которых нежелательно и недопустимо, поскольку ухудшит качество ортопедических конструкций и лечения больных.

### Список литературы

1. Арутюнов С.Д., Царев В.Н., Остроухова А.А. Современные технологии дезинфекции и стерилизации в стоматологической практике: учебное пособие. – М.: УМО МЗ РФ, 2002. – 74 с.

2. Арутюнов С.Д., Царев В.Н., Остроухова А.А. Основы применения современных методов стерилизации и дезинфекции в стоматологической практике: учебное пособие. – М.: УМО МЗ РФ, 2002. – 74 с.

3. Арутюнов С.Д., Романенко Н.В., Цветкова Л.А., Карпова В.М., Моторкина А.В. Дезинфекция и стерилизация мероприятия в амбулаторной стоматологической практике: учебно-методическое пособие. – М., 2003. – 20 с.

4. Арутюнов С.Д., Царев В.Н., Остроухова А.А. Основы современных методов стерилизации и дезинфекции в стоматологической практике: руководство для студентов медицинских вузов. – М.: ВУНМЦ МЗ РФ, 2003. – 112 с.

5. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1975. – 512 с.

6. Конёк Д.А. Физические модели эффекта отрицательного коэффициента Пуассона твердых тел. Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси // Молодые ученые: материалы Международной научной конференции. – М.: МИРЭА, 1–4 октября 2002. – С. 15–18.

7. Муслев С.А., Арутюнов С.Д., Сакиева З.В. Подсчет изменений линейных размеров, площади осевого сечения и объема стоматологических оттисков // Проблемы современной медицины: актуальные вопросы: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – Красноярск, 6 ноября 2014. – С. 141–146.

8. Херхагер М., Партолл Х. Mathcad 2000. Полное руководство. – Киев: BHV, 2000. – 412 с.

9. Царев В.Н., Абакаров С.И., Умарова С.Э. Динамика колонизации микробной флорой полости рта различных материалов, используемых для зубного протезирования // Стоматология. – 2000. – № 1. – С. 55–57.

10. Fenno J.C., Coulter W.A., Lopatin D.E. Профилактика инфекций в стоматологии. В кн. Микробиология и иммунология для стоматологов / под ред. Р. Ламант, Р. Берне, Д. Лебланк. – М.: Практическая медицина. – 2010. – С. 475–500.

11. Fung Y.C. Biomechanics, mechanical properties of living tissues. – New York: Blackwell Scientific Publications, 1993. – 568 p.

## References

1. Arutjunov S.D., Carev V.N., Ostrouhova A.A. Sovremennye tehnologii dezinfekcii i sterilizacii v stomatologicheskoj praktike: uchebnoe posobie. M.: UMO MZ RF, 2002. 74 p.
2. Arutjunov S.D., Carjov V.N., Ostrouhova A.A. Osnovy primeneniya sovremennyh metodov sterilizacii i dezinfekcii v stomatologicheskoj praktike: uchebnoe posobie. M.: UMO MZ RF, 2002. 74 p.
3. Arutjunov S.D., Romanenko N.V., Cvetkova L.A., Karpova V.M., Motorkina A.V. Dezinfekcija i sterilizacija mero-prijatija v ambulatornoj stomatologicheskoj praktike: uchebno-metodicheskoe posobie. M., 2003. 20 p.
4. Arutjunov S. D., Carev V.N., Ostrouhova A.A. Osnovy sovremennyh metodov sterilizacii i dezinfekcii v stomatologicheskoj praktike: rukovodstvo dlja studentov medicinskih vuzov. M.: VUNMC MZRF, 2003. 112 p.
5. Vojuckij S.S. Kurs kolloidnoj himii. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Himija, 1975. 512 p.
6. Konjok D.A. Fizicheskie modeli jeffekta otricatel'nogo kojefficienta Puassona tverdyh tel. Institut mehaniki metallopolimernyh sistem im. V.A. Belogo Nacional'noj akademii nauk Belarusi // Molodye uchenye: materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. M.: MIRJeA, 1–4 oktjabrja 2002. pp. 15–18.
7. Muslov S.A., Arutjunov S.D., Sakieva Z.V. Podschet izmenenij linejnyh razmerov, ploshhadi oseвого sechenija i obema stomatologicheskikh ottiskov // Problemy sovremennoj mediciny: aktual'nye voprosy: sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Krasnojarsk, 6 nojabrja 2014. pp. 141–146.
8. Herhager M., Partoll' H. Mathead 2000. Polnoe rukovodstvo. Kiev: BHV, 2000. 412 p.
9. Carev V.N., Abakarov S.I., Umarova S.Je. Dinamika kolonizacii mikrobnaj floroj polosti rta razlichnyh materialov, ispol'zuemyh dlja zubnogo protezirovanija // Stomatologija. 2000. no. 1. pp. 55–57.
10. Fenno J.C., Coulter W.A., Lopatin D.E. Profilaktika infekcij v stomatologii. V kn. Mikrobiologija, i immunologija dlja stomatologov / pod red. R. Lamant, R. Berne, D. Leblank. M.: Prakticheskaja medicina. 2010. pp. 475–500.
11. Fung Y.C. Biomechanics, mechanical properties of living tissues. New York: Blackwell Scientific Publications, 1993. 568 p.

## Рецензенты:

Мальгинов Н.Н., д.м.н., профессор, проректор, ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава РФ, г. Москва;

Цаликова Н.А., д.м.н., профессор кафедры гнатологии и функциональной диагностики, ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава РФ, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 18.03.2015.