

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s243>

Обоснование выбора сырья для создания специализированного питания для людей с дисфагией методом 3D печати

О.Е. Бакуменко, М.В. Малецкий

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Малецкий Максим Владимирович,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: oebakumenko@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 11.11.2024

Поступила после
рецензирования: 20.12.2024

Принята: 30.12.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование посвящено разработке специализированного питания для людей с дисфагией методом 3D-печати. Актуальность исследования и наличие пробелов в существующем знании обусловлены ограниченным ассортиментом коммерческих продуктов для пациентов с дисфагией, их высокой стоимостью и однообразием текстуры, что снижает качество жизни больных. В существующих исследованиях рассматриваются различные подходы к созданию 3D-печатных продуктов, включая использование белковых изолятов, крахмальных гелей и стабилизированных пюре, однако большинство из них применяют дорогостоящие или труднодоступные компоненты.

Цель. Анализ рекомендаций по питанию людей с дисфагией и разработка вкусного и привлекательного блюда из натурального сырья, с целью удовлетворения потребности в продуктах лечебных учреждений и обеспечения доступности их для людей с дисфагией.

Материалы и методы исследования включали разработку рецептуры пищевых чернил на основе доступного отечественного сырья — порошков картофеля, капусты, моркови, лука и кабачков в сочетании с гуаровой и ксантановой камедями, экспериментальную печать на 3D-принтере и оценку текстурных характеристик по стандартам IDDSI.

Результаты показали, что полученный продукт успешно прошёл тест с наклоном ложки, соответствуя четвёртому уровню загущения, а введение комбинации загустителей обеспечило однородность структуры и стабильность формы в течение 30 минут. Органолептическая оценка выявила необходимость дополнительной коррекции параметров печати для улучшения внешнего вида изделия. В сравнении с ранее опубликованными работами продемонстрирована возможность создания специализированного питания с адаптированным составом, соответствующим диетическим требованиям пациентов с дисфагией.

Выводы подтверждают перспективность технологии 3D-печати для медицинского питания, а дальнейшие исследования будут направлены на улучшение вкусовых характеристик, доработку параметров экструзии и клиническую апробацию разработанного продукта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

дисфагия, специализированное питание, инсульт, 3D печать, пищевые чернила, полисахаридные загустители



Для цитирования: Малецкий, М. В., & Бакуменко, О. Е. (2024). Обоснование выбора сырья для создания специализированного питания для людей с дисфагией методом 3D печати. *Health, Food & Biotechnology*, 6(4), 45-56. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s243>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s243>

Justification of the Choice of Raw Materials for the Creation of Specialized Nutrition for People with Dysphagia Using 3D Printing

Olesya E. Bakumenko, Maxim V. Maletskiy

Russian Biotechnology University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Maxim V. Maletskiy,
Russian Biotechnology University
(BIOTECH University), 125080, Russia,
Moscow, Volokolamskoe shosse, 11
E-mail: oebakumenko@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 11.11.2024

Received in revised form: 20.12.2024

Accepted: 30.12.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The study focuses on the development of specialized nutrition for individuals with dysphagia using 3D printing technology. The relevance of the research and existing knowledge gaps are driven by the limited range of commercially available products for dysphagic patients, their high cost, and uniform texture, which negatively impact patients' quality of life. Existing studies explore various approaches to the development of 3D-printed food, including the use of protein isolates, starch-based gels, and stabilized purees; however, most of these approaches rely on expensive or hard-to-access components.

Purpose. Analysis of nutritional recommendations for people with dysphagia and development of a tasty and attractive dish from natural ingredients, in order to meet the needs of medical institutions for products and ensure their availability for people with dysphagia.

Materials and Methods. The research methods included the formulation of food inks based on readily available domestic raw materials – potato, cabbage, carrot, onion, and zucchini powders – combined with guar and xanthan gums, experimental 3D printing, and texture evaluation according to IDDSI standards.

Results. The results and discussion demonstrated that the developed product successfully passed the spoon tilt test, corresponding to Level 4 thickness, while the combination of thickeners ensured a homogeneous structure and shape stability for at least 30 minutes. Sensory evaluation identified the need for additional optimization of printing parameters to improve the product's appearance. Compared to previously published studies, this research demonstrated the feasibility of creating specialized nutrition with an adapted composition that meets the dietary requirements of dysphagic patients.

Conclusions confirm the potential of 3D printing technology for medical nutrition, and future studies will focus on enhancing flavor characteristics, refining extrusion parameters, and conducting clinical validation of the developed product.

KEYWORDS

dysphagia, specialized nutrition, stroke, 3D printing, food ink, polysaccharide thickeners



To cite: Maletskiy, M. V., & Bakumenko, O. E. (2024). Justification of the choice of raw materials for the creation of specialized nutrition for people with dysphagia using 3D printing. *Health, Food & Biotechnology*, 6(4), 45-56. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i3.s243>

ВВЕДЕНИЕ

Дисфагия — это расстройство функции глотания, которое может иметь органические или нейрогенные причины (Иванова и соавт., 2016). Данное состояние характеризуется затруднением прохождения пищи и жидкостей по пищеводу, что может приводить к аспирации и другим осложнениям. Механизм дисфагии связан с неполным перекрытием трахеи надгортанником при прохождении пищи, что увеличивает риск попадания пищи в дыхательные пути. Дисфагия часто является последствием различных заболеваний и состояний, таких как (Daniels, 2006):

- 1) острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК или инсульт);
- 2) травматическое повреждение мозга;
- 3) опухоли мозга;
- 4) детский церебральный паралич (ДЦП);
- 5) деменция;
- 6) болезнь Альцгеймера;
- 7) рассеянный склероз;
- 8) болезнь Паркинсона.

Вероятность возникновения дисфагии при данных заболеваниях варьируется, например, для инсульта риск составляет 65 %, для травматических повреждений мозга — 25 %, для болезни Альцгеймера — 32 %, для болезни Паркинсона — 50 %, а для рассеянного склероза — 34 % (Maciejewska et al., 2024).

Согласно данным из различных больниц, частота возникновения дисфагии значительно варьируется. Например, в одной из больниц на о.Сахалин за период с 2021 по 2023 годы было зарегистрировано 255 случаев дисфагии после инсульта. В ГКБ им. С.П. Боткина за период с 2019 по 2022 годы с диагнозом ОНМК поступило 6343 пациента, из которых (согласно статистике, приведённой выше) 4122 пациента находились в зоне риска возникновения дисфагии. Данные свидетельствуют о том, что большинство заболеваний, приводящих к дисфагии, характерны для пожилых людей, тогда как у детей и молодых людей дисфагия чаще всего возникает в результате травмы мозга или поражения гортани и/или пищевода (Комарова и соавт., 2022).

Люди, страдающие дисфагией, сталкиваются с рядом серьёзных проблем, которые существенно снижают качество их жизни. В первую очередь, это проблемы с приёмом пищи, которые могут приводить к аспирации (попаданию пищи в дыхательные пути) и, как следствие, к аспирационной пневмонии. Кроме того, пациенты с дисфагией часто испытывают дефицит питательных веществ из-за невозможности нормально питаться. Это может приводить к авитаминозу, дегидратации и значительной потере веса (Белевич, 2015). Для таких пациентов диета должна состоять исключительно из протёр-

той пюреобразной пищи или незначительно загущённой жидкости. В связи с тем, что процесс реабилитации проходит длительное время (от двух месяцев и более) у всех пациентов с дисфагией на фоне употребления однообразной пищи наблюдается развитие депрессии и снижение аппетита вплоть до полного отказа от еды.

Для больных дисфагией на сегодняшний день существует специализированное питание и добавки к пище отечественной и иностранной разработки. Из иностранных товаров на рынке представлены специализированное питание ТМ «Фрезубин» — «Фрезубин сгущённый уровень 2» и «Фрезубин сгущённый уровень 1», каждый из которых имеет по два вкуса. Загуститель ТМ «Nutrien Disphagia» не является специализированным питанием, а лишь загущает готовые блюда и придаёт им необходимую консистенцию. Кроме этого больные могут употреблять детские пюре ТМ «Фрутоняня». К недостаткам можно отнести такие факторы. «Nutrien Disphagia» очень дорогой продукт и закупается больницами редко в объёмах, которых недостаточно для питания пациентов, поэтому его используют только для приготовления эталонного блюда. «Фрутоняня» недостаточно калорийна. «Фрезубин» дорогой и его не всегда закупают в больницы. Главным недостатком перечисленных продуктов является то, что еда имеет одинаковый внешний вид и консистенцию.

Выходом из этой ситуации может стать создание блюд на пищевом 3D-принтере. Эта технология позволяет создать из непривлекательных пен и пюре разнообразные по форме и цвету блюда. Кроме того, эта технология позволяет создавать блюда с точным содержанием нутриентов, что особенно важно для персонифицированного питания пациентов с дисфагией.

Возможность создания разнообразных сложных форм продуктов достигается за счёт высокой точности движения рабочих органов пищевого принтера и точной дозировки чернил. При традиционном способе изготовления блюд невозможно достичь одинаковой дозировки сырья и точного рисования контура продукта.

Анализ степени изученности вопроса печати специализированного питания показал, что в российском научном сегменте данный вопрос не изучен, напротив в англоязычном сегменте были найдены научные статьи, посвящённые данному вопросу.

Статья (Giura et al., 2024) исследует разработку овощных пюре с добавлением *Chlorella vulgaris* для людей с дисфагией. Были исследованы три вида *Chlorella vulgaris* (гладкая, медовая и белая), добавленные в пюре из кабачков и моркови. Пюре с белой хлореллой показало высокую антиоксидантную способность, все образцы обеспечивали более 15 % суточной нормы железа, а пе-

реваримость составляла 90.9–92.6 %. Пюре с гладкой хлореллой имело самую высокую переваримость белка (46 %). Все пюре подходили для диеты при дисфагии и для 3D-печати. Добавление *C. vulgaris* улучшило питательные свойства пюре, не влияя на их реологию, что делает их пригодными для людей с дисфагией.

В статье (Dick et al., 2021) изучается возможность создания продуктов из говядины для людей с дисфагией с использованием различных гидроколлоидов. Смеси ксантановой и гуаровой камеди, а также каппа-каррагинана и камеди рожкового дерева показали хорошие результаты. Образцы, обработанные теплом, сохраняли форму и соответствовали 5–7 уровням по IDDSI. Это доказало, что добавление гидроколлоидов улучшает консистенцию и стабильность продуктов для дисфагии.

Carvajal-Mena et al. (2023) исследуют гели на основе кукурузного крахмала и белков лосося для 3D-печати. Исследование показало, что гели с 15 % крахмала и 3–4 % белка обладают наилучшей стабильностью и текстурой, подходящей для пациентов с дисфагией. Лиофилизация была выбрана как наиболее эффективный метод постобработки, обеспечивающий сохранение формы (94,66 %–99,22 %) и подходящую текстуру. Гели на основе кукурузного крахмала и белков лосося показали перспективу для создания 3D-печатной пищи для людей с трудностями при глотании.

В исследовании (Kim et al., 2024) рассматривается возможность создания десерта из красного женьшеня с мёдом с помощью 3D-печати. Изолят горохового белка добавлялся для придания консистенции. Продукты с 60 г/кг изолята соответствовали критериям диеты для дисфагии (уровень 5 по IDDSI) и были похожи на коммерческий красный женьшень по сенсорным характеристикам. Это исследование показало, что изолят горохового белка улучшает текстуру и питательную ценность продуктов для пациентов с дисфагией.

Исследование (Lee et al., 2021) посвящено 3D-печати пищевых пен для предотвращения обезвоживания у пациентов с дисфагией. Исследовались пены на основе яичных белков и без яиц с добавлением ксантановой камеди для улучшения стабильности. Пены с XG показали лучшие результаты, высокую стабильность и минимальное выделение воды. Чернила с 85.5 % яичного белка, 12.5 % экстракта медовой дыни и 2 % ксантановой камеди, а также смесь с «Foam Magic» продемонстрировали отличные реологические свойства и печатоспособность. Исследование показало, что 3D-печать пищевых пен с гидроколлоидами может стать эффективным решением для создания специализированных продуктов питания для пациентов с дисфагией, обеспечивая увлажнение и питательные вещества.

Xiao et al. (2024) изучали влияние различных концентраций изолята соевого белка (3 %, 5 %, 7 %) на 3D-печать порошка белого гриба и проведена иерархическая классификация диеты для дисфагии в рамках международной инициативы IDDSI. Результаты показали, что добавление изолята соевого белка в гель из белых грибов снижало подвижность воды и способствовало образованию водородных связей, что значительно улучшало механическую прочность и связность печатных чернил, включая предел текучести, вязкость и твердость. Тесты IDDSI показали, что добавление 3 % и 5 % изолята соевого белка помогало печатным чернилам проходить тесты на наклон ложки и капание с вилки, что соответствовало уровню 5 (измельченная и влажная пища) с учетом теста на давление вилкой. Добавление 7 % изолята соевого белка делало чернила слишком вязкими для экструзии, что ухудшало внешний вид печатного образца. Добавление 3 % изолята соевого белка обеспечивало гладкую поверхность и отличную самоподдерживающую способность печатного образца.

Целью исследования (Herrera-Lavados et al., 2023) было создание 3D-печатаемого низкокалорийного эмульсионного геля для диеты при дисфагии путем добавления желатина в наноэмульсию на основе бобов, стабилизированную высоконапорной гомогенизацией. Было установлено, что высоконапорная гомогенизация при давлениях >200 МПа и 5 % бобового белка создавала стабильные наноэмульсии. Добавление желатина снижало вибрации связей -NH- и -COO-, увеличивало водородное связывание и обеспечивало самоподдерживающиеся эмульсионные гели при концентрации желатина >1,5 %. При 2,5 % желатина улучшались параметры печати, стабильность размеров и текстурные свойства, что позволило создавать точные и безопасные для глотания формы. Исследование показало, что стабильные эмульсионные гели могут использоваться в 3D-печати для разработки пищи с индивидуальными текстурами и питательными свойствами для людей с дисфагией.

Как видно из представленных материалов, возможность создания продуктов для людей с расстройством глотания и пищевых чернил для печати таких продуктов серьёзно изучается за рубежом. Для создания готовых блюд и чернил для их получения на 3D принтере применяются ингредиенты, не характерные для русской национальной кухни, либо дорогостоящие и недоступные функциональные добавки. Однако, в российских лечебных учреждениях предпочтение нужно отдавать блюдам из доступного и недорогого сырья.

Исходя из вышеизложенного, возникает необходимость в анализе рекомендаций по питанию людей с дисфагией и разработке вкусного и привлекательного блюда из натурального отечественного сырья, с целью удовлетворения потребности в продуктах лечебных учреждений

и обеспечения доступности их для людей с дисфагией, что и обусловило **цель настоящего исследования**.

Для реализации поставленной цели решали следующие **задачи**:

- (1) провести анализ рекомендаций по питанию для людей с дисфагией и меню лечебных учреждений, где находятся пациенты с данной патологией;
- (2) подобрать сырьевые компоненты и разработать оптимальный состав пищевых чернил для получения готового блюда;
- (3) изучить возможность разработки готового блюда с помощью 3D печати на основе натуральных ингредиентов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы

В качестве традиционного сырья для пищевых чернил были выбраны порошки из картофеля, лука, моркови, кабачка и капусты, содержащие вышеуказанные нутриенты. Они стали объектами исследования (Таблица 1).

Таблица 1
Характеристика сырья и ингредиентов
Table 1
Characteristics of Raw Materials and Ingredients

Сырье	Нормативный документ	Производитель
Порошок из картофеля	ТУ РБ 100377784.002	ТМ «Мира»
Порошок из капусты белокочанной	ГОСТ 32065–2013	ТМ «БАБА Клава»
Порошок из лука репчатого	ГОСТ 32065–2013	ТМ «Oreganos»
Порошок из кабачков	ГОСТ 33980–2016	ТМ «Белые луги»
Порошок из моркови	ГОСТ 32065–2013	ТМ «Borago»
Соль пищевая	ГОСТ Р 51574–2018	ООО «ТСД»
Питьевая очищенная бутилированная вода	ГОСТ 32220–2013	ТМ «Шишкин лес»
Ксантановая камедь	Нет*	ТМ «Molecularmeal»
Гуаровая камедь	Нет*	

Примечание. * — стандарт не указан на потребительской упаковке.
Note. * — the standard is not indicated on consumer packaging.

В качестве литературных источников с рекомендациями по питанию в период после ОНМК использовались научные статьи и официальные источники информации.

Оборудование

Исследования проводили в лаборатории пищевых аддитивных технологий Технопарка РОСБИОТЕХ.

Для печати использовали пищевой 3D принтер марки «ISL Dual Pro» (ООО «НАШЕКРАШЕ»). Управление принтером осуществлялось через программу, разработанную специально для указанного принтера.

Сырьё и ингредиенты перемешивали блендером ТМ «Brayer» (800 Вт).

Взвешивание производилось на технических весах «CAS MWP 3000».

Методы

Для отпечатанных пищевых продуктов были разработаны требования к внешнему виду. Они основывались на общих требованиях к качеству изделий, созданных методом 3D-печати (отсутствие пропусков в стенках модели и наплывов слоёв) так и на требованиях к пище для людей с дисфагией. Эти требования включают в себя отсутствие отделения влаги и стабильность формы продукта в течение минимум тридцати минут. Такой временной промежуток был выбран, потому что, по утверждению логопедов, получаса хватает больным с дисфагией, чтобы съесть блюдо.

Готовый образец продукта тестировали по методологии IDDSI (International Dysphagia Diet Standardisation Initiative — международная инициатива по стандартизации диет при дисфагии), которая на сегодняшний день является международным стандартом по классификации пищи для людей с дисфагией. Помимо классификации документ включает в себя детальное описание методов тестирования пищи на соответствие каждому уровню. Всего стандарт включает восемь уровней (Рисунок 1).

Необходимо отметить, что пищевой принтер может печатать лишь пюреобразными пищевыми чернилами. Следовательно, разрабатываемые чернила должны соответствовать 3–4 уровню загущения.

Для проверки соответствия пищи указанным уровням применяется тест на текучесть с применением вилки (третий уровень) и тест с наклоном ложки (четвёртый уровень). Суть теста с наклоном ложки состоит в том,

Рисунок 1
Визуальное представление уровней по IDDSI (International Dysphagia Diet Standardisation Initiative, 2019)¹
Figure 1
Visual Representation of IDDSI Levels (International Dysphagia Diet Standardisation Initiative, 2019)



что продукт, набранный в ложку, при переворачивании легко соскальзывает без необходимости встряхивания или при не сильном встряхивании. При не сильном встряхивании допускается использовать только пальцы и кисть. Сквозь след продукта должна просматриваться ложка. Суть теста на текучесть с применением вилки состоит в определении способности пищи протекать сквозь вилку. Тест считается пройденным, если сквозь вилку пища медленно протекает (Комарова и соавт., 2022).

Процедура исследования

Первый этап. На первом этапе была подобрана научная литература с целью сбора статистики и посвящённая вопросу питания больных с ОНМК и дисфагией. Поиск осуществлялся по базам E-Library, Cyberleninka, ScienseDirect и с помощью поисковых систем.

Второй этап. На втором этапе была найдена информация о том, в каких нутриентах больные после ОНМК с дисфагией испытывают особый недостаток. Поиск осуществлялся по указанным выше базам.

Третий этап. На третьем этапе из списка разрешённых продуктов были подобраны те, которые в достаточном количестве содержат необходимые нутриенты.

Четвёртый этап. На четвёртом этапе был определён оптимальный состав пищевых чернил. Для этого были использованы порошки указанных выше овощей, питьевая вода и загустители гуаровая камедь и ксантановая камедь. Выбор загустителей основан на рекомендациях авторов исследования (Giura et al., 2024). Было изготовлено несколько образцов пищевых чернил, состав которых представлен в Таблице 2. Количество загустителей было взято согласно рекомендации производителей.

Таблица 2
Составы образцов пищевых чернил
Table 2
Compositions of Edible Ink Samples

Номер образца	Ингредиент	Количество, г
1	Порошок картофеля	20,0
	Порошок кабачка	5,0
	Порошок капусты	5,0
	Порошок моркови	2,0
	Порошок лука	1,0
	Соль пищевая	1,0
	Гуаровая камедь	—
	Ксантановая камедь	0,16
2	Порошок картофеля	20,0
	Порошок кабачка	5,0
	Порошок капусты	5,0
	Порошок моркови	2,0
	Порошок лука	1,0
	Соль пищевая	1,0
	Гуаровая камедь	0,08
	Ксантановая камедь	—
3	Порошок картофеля	20,0
	Порошок кабачка	5,0
	Порошок капусты	5,0
	Порошок моркови	2,0
	Порошок лука	1,0
	Соль пищевая	1,0
	Гуаровая камедь	0,08
	Ксантановая камедь	0,16

Ко всем полученным смесям добавили по 100 г воды. Вода была нагрета до кипения, в ней развели загустители, перемешали блендером в чаше до полного растворе-

¹ Международная инициатива по классификации и стандартизации диет по дисфагии. (2019). Полные характеристики и описание 2.0. iddsi.org

ния, затем блендером смешали с овощными порошками до однородной массы.

Пятый этап. На пятом этапе была проверена возможность печати продуктов подготовленными чернилами. Печать осуществлялась с такими параметрами:

- скорость движения по оси X: 65 мм/сек.;
- скорость движения по оси Y: 65 мм/сек.;
- диаметр сопла: 1,2 мм;
- высота слоя: 0,8 мм;
- коэффициент подачи чернил: 1,5.

Количество овощных порошков в образцах не изменяли, а выбор и количество загустителей варьировали. Так, в образце 1 загустителем служила ксантановая камедь, в образце 2 — гуаровая камедь, образец 3 включал оба загустителя в соотношении 1:2. Такой выбор пропорций был основан на рекомендациях в профильной литературе и других авторов (Lee et al., 2021).

Образцы пищевых чернил были подготовлены следующим образом. Взвесили рецептурные ингредиенты. Нужно количество загустителей дозировали в чашу блендера, добавили воду температурой 85–90°C, перемешали до полного растворения, затем добавили овощные порошки и также перемешали.

Качество отпечатанного продукта оценивалось органолептическим показателям (внешний вид, вкус, запах, однородность, текстура) в соответствии с ГОСТ 31986–2012.

В дегустации приняли участие 15 дегустаторов. Продукт был изучен визуально по указанным ниже критериям в соответствии с требованиями к отпечатанным продуктам:

- отсутствие пропусков в стенках модели;
- стабильность формы модели после печати;
- отсутствие отделения влаги.

Отдельно для отпечатанных пищевых продуктов были разработаны требования к внешнему виду. Они основывались на общих требованиях к качеству изделий, созданных методом 3D-печати (отсутствие пропусков в стенках модели и наплывов слоёв) так и на требованиях к пище для людей с дисфагией. Эти требования включают в себя отсутствие отделения влаги и стабильность формы продукта в течение минимум тридцати минут. Такой временной промежуток был выбран, потому что, по утверждению логопеда, получаса хватает больным с дисфагией, чтобы съесть блюдо.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе была составлена таблица с перечнем разрешенных и запрещенных продуктов после ОНМК (Таблица 3) (Королёва, 2023²; Saint Luke's Health System, 2020).

Таблица 3
Перечень разрешенных и запрещенных продуктов после инсульта
Table 3
List of Permitted and Prohibited Products After a Stroke

Наименование продукта	Разрешён/Запрещён
Фрукты, ягоды и овощи	Разрешены
Овощи, фрукты, сухофрукты и орехи	
Листовые зеленые овощи (салат, шпинат), бобовые, грибы, яйца, печень	
Молочные продукты с пониженным содержанием жира	
Цельнозерновые продукты	
Постное мясо	Запрещены
Мононенасыщенные жиры (авокадо, оливковое масло) и полиненасыщенные жиры (жирная рыба, соевое, подсолнечное и льняное масло)	
Печенье, торты или пирожные, конфеты	
Целые фрукты	
Жирное мясо	
Жареные, вареные яйца или яичница-болтунья	
Макаронные изделия	

Важное замечание: все перечисленные продукты в категории разрешенных обязательно должны быть пюреированы, чтобы не вызывать трудностей при глотании.

На втором этапе было обнаружено, что пациенты с дисфагией испытывают потребность в таких нутриентах:

- калий — контролировать артериальное давление;
- антиоксиданты — защищают клетки от свободных радикалов;
- фолиевая кислота — помогает снизить уровень гомоцистеина в крови, что связано с снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний.

² Королёва, М. (2023, June 26). Питание при инсульте: что можно и чего нельзя есть. *Роскачество*. <https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/pitanie-pri-insulte-cto-mozhno-i-chego-nelzya-est/>

Также фолиевая кислота важна для поддержания здоровья нервной системы и улучшения когнитивных функций после инсульта;

- клетчатка — снижает уровень холестерина в крови, является пребиотиком;
- белки — основной строительный материал всех клеток организма;
- моно- и полиненасыщенные жиры — снижают уровень липопротеинов низкой плотности и общий риск сердечно-сосудистых заболеваний.

На третьем этапе были отобраны продукты, которые содержат в достаточном количестве. Такими продуктами стали:

- картофель;
- лук;
- морковь;
- кабачки;
- капуста.

Картофель характеризуется высоким содержанием калия — 421 мг/100 г (Grimm et al., 2017). Лук богат кверцетином — флавоноидом с антиоксидантными и противовоспалительными свойствами, который может помогать снижать риск хронических заболеваний и улучшать здоровье сердечно-сосудистой системы³.

По Сборнику блюд и кулинарных изделий было подобрано блюдо, которое бы содержало все указанные ингредиенты. Таким стало рагу из овощей №321. Кроме этого, рагу — привычное с детства для большинства людей блюдо. Учитывался и тот факт, что привычное блюдо из привычных ингредиентов пациентам с дисфагией будет проще употреблять с психологической точки зрения.

В первую очередь был подобран состав для придания необходимых органолептических характеристик. Было сделано три образца продукта и была проведена органолептическая оценка. Процедура исследования была проведена согласно методике, описанной в статье (Заворохина и соавт., 2019). Словарь дескрипторов представлен в Таблице 4.

Шкала оценок каждого дескриптора представлена в Таблицах 5–7.

Затем была проведена дегустация, по результатам которой образцам были выставлены оценки и полученные данные обработаны. В первую очередь был оценён вкус разработанного продукта (образцы 1–3). Результаты дегустации представлены на Рисунке 2.

Таблица 4
Словарь дескрипторов
Table 4
Descriptor Dictionary

Код дескриптора	Наименование	Органолептическая характеристика
Д1	Овощной вкус	Вкус
Д2	Солёность	Вкус
Д3	Привкус лука	Вкус
Д4	Баланс вкуса	Вкус
Д5	Насыщенность аромата	Запах
Д6	Гармоничность аромата	Запах
Д7	Аромат овощей	Запах
Д8	Насыщенность цвета	Цвет
Д9	Равномерность окраски	Цвет
Д10	Привкус капусты	Вкус
Д11	Слизь	Консистенция
Д12	Наплыв слоёв	Внешний вид
Д13	Полости в стенках	Внешний вид
Д14	Отделение влаги	Консистенция
Д15	Стабильность формы	Внешний вид
Д16	Однородность	Консистенция

Таблица 5
Шкала оценок для дескрипторов Д1-Д9
Table 5
Rating Scale for Descriptors D1-D9

	Не вос- прини- мается	Сла- бо	Скорее слабо	Сред- не	Скорее сильно	Силь- но
Оценка дескриптора Д1-Д9	0	1	2	3	4	5

Таблица 6
Шкала оценок для дескрипторов Д11-Д15
Table 6
Rating Scale for Descriptors D11-D15

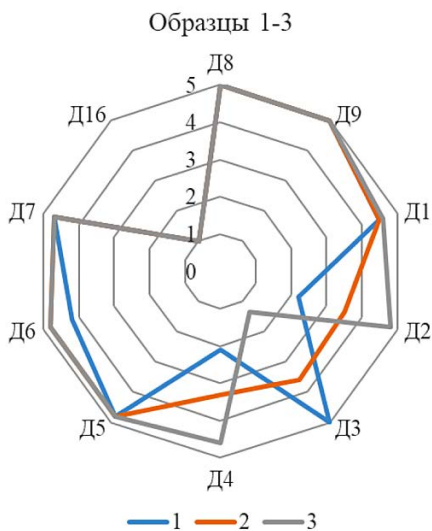
	Значи- тельное присут- ствие	Присут- ствие	Средне	Незначи- тельное присут- ствие	Отсут- ствуют
Оценка дескриптора Д11-Д15	1	2	3	4	5

³ Cervoni, B. (2021, November 11). Onion nutrition facts and health benefits. Verywell Fit.<https://www.verywellfit.com/onions-nutrition-calories-and-health-benefit-4119066>

Таблица 7
Шкала оценок дескриптора Д16
Table 7
Rating Scale for Descriptors D16

	Не-одно-родна	Скорее неодно-родна	Сред-не	Скорее од-нородна	Одно-родна
Оценка дескриптора Д16	1	2	3	4	5

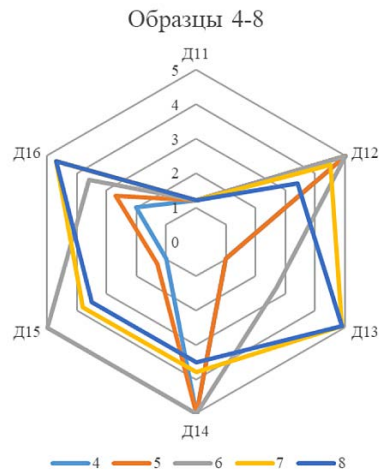
Рисунок 2
Органолептическая оценка образцов 1–3
Figure 2
Organoleptic Evaluation of Samples 1–3



Лучшим по органолептическим показателям стал образец 3. В образцах 1 и 2 дегустаторы отметили явный привкус лука, который портил сбалансированность вкуса и аромата. Также во всех образцах была отмечена неудовлетворительная (рассыпчатая) консистенция, что указывало на недостаток жидкости в продукте. Поэтому, в следующие образцы (№4–8) добавлялась вода до получения требуемой консистенции. Результаты представлены на Рисунке 3.

Лучшим образцом по оценкам стал образец 7. Он показал лучшие результаты по консистенции и внешнему виду, однако в нём наблюдалось незначительное отделение влаги, что недопустимо для разрабатываемого продукта и ощущалась слизь. Для устранения этих недостатков была введена в состав гуаровая камедь. Результат оценки получившихся образцов (9–11) представлен на Рисунке 4.

Рисунок 3
Органолептическая оценка образцов 4–8
Figure 3
Organoleptic Evaluation of Samples 4–8



Наилучшим по результатам оценки стал образец 11. В нём не ощущалась слизь и отсутствовала неоднородность. Фотография образца представлена на Рисунке 5.

Фотография отпечатанного продукта демонстрирует возможность создания разнообразных форм методом пищевой 3D печати. Как указывалось во введении, однообразность рациона, формы и консистенции пищи приводит к развитию депрессии и отказа от еды. Различные формы и цвета дадут возможность внести разнообразие в однообразный рацион больных дисфагией, который состоит из бесформенных пюре. Полученным продуктом можно будет заменить овощные пюре для детского питания, которые присутствуют в рационе

Рисунок 4
Органолептическая оценка образцов 9–11
Figure 4
Organoleptic Evaluation of Samples 9–11

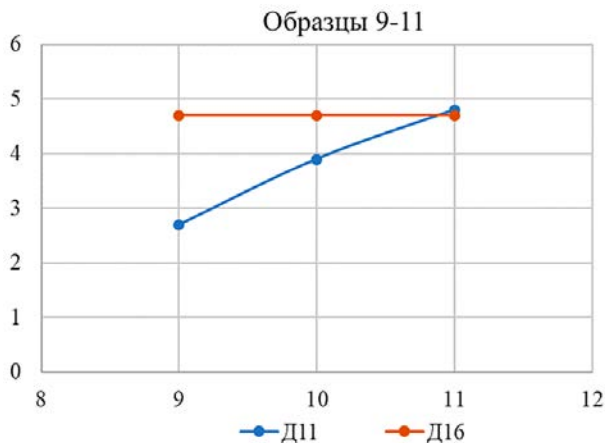


Рисунок 5
Пример печати продукта чернилами №14
Figure 5
Example of Product Printing with Ink No.14



больных дисфагией. Либо представленный продукт можно будет ввести в рацион вместо традиционного овощного рагу, которое по своим органолептическим характеристикам не подходит для питания больных дисфагией. Состав образца №14 приведён в Таблице 8.

Таблица 8
Состав чернил для пищевого 3D-принтера
Table 8
Composition of Ink for Food 3D printer

Наименование ингредиента	Количество ингредиентов в образце №14, г	Кол-во ингредиентов в 100 г готовых чернил, г
Порошок картофеля	20,0	6,73
Порошок кабачка	5,0	1,68
Порошок капусты	5,0	1,68
Порошок моркови	2,0	0,67
Порошок лука	1,0	0,34
Соль пищевая	1,0	0,34
Гуаровая камедь	1,28	0,43
Ксантановая камедь	1,76	0,59
Вода питьевая	260	87,53

В ряде исследований предлагались различные подходы к составу пищевых чернил, включая добавление *Chlorella vulgaris* (Giura et al., 2024), белков лосося в сочетании с крахмальными гелями (Carvajal-Mena et al., 2023) и пищевых пен на основе яичного белка (Lee et al., 2021). Предложенный в данной работе подход, основанный на применении отечественного растительного сырья (порошки картофеля, лука, моркови, кабачка, капусты)

Рисунок 6
Результат тестирования отпечатанного продукта
Figure 6
Test Result of the Printed Product



в сочетании с гуаровой и ксантановой камедями позволил добиться необходимой текстуры при использовании доступного и известного сырья, адаптированного к реалиям российского рынка и кулинарным традициям. Предложенный вариант сочетает доступные овощные порошки и гидроколлоиды, что делает его простым в изготовлении. Экспериментальные данные подтвердили стабильность формы полученных изделий, аналогично результатам, полученным в исследованиях по гидроколлоидным системам (Dick et al., 2021; Herrera-Lavados et al., 2023).

Отпечатанный продукт был протестирован на текучесть с применением вилки и с наклоном ложки. Тест на текучесть он не прошёл, но прошёл тест с наклоном ложки (Рисунок 6).

Продукт при незначительном усилии упал с ложки, на самой ложке осталась плёнка, сквозь которую была видна ложка. Таким образом можно сделать вывод, что полученный продукт соответствует четвертому уровню пищи по классификации IDDSI. Такая консистенция подходит людям с расстройством глотания и позволит без труда глотать продукт, отпечатанный из разработанных чернил.

Однако, для создания ровного контура изделия, исключения наплыва слоёв и повышения привлекательности изделия для потенциальных потребителей требуется дополнительная коррекция некоторых параметров печати. Так, предполагается, что изменение скорости выдавливания чернил и/или изменение скорости движения печатающей головки принтера даст возможность улучшить внешний вид готового продукта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование обоснования выбора сырья для создания специализированного питания для людей с дисфагией методом 3D печати имело целью создание блюд, которые не только удовлетворяют пищевые потребности пациентов, но и обеспечивают их психологический комфорт благодаря разнообразию формы и цвета. Проведенный анализ показал, что дисфагия представляет собой значительную проблему, особенно для пожилых людей и пациентов, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК).

Экспериментальная часть исследования включала подбор ингредиентов, создание пищевых чернил для 3D печати и оценку напечатанных продуктов по органолептическим показателям и соответствию уровням загущения по методологии IDDSI. В результате исследования было установлено, что использование картофельного, лукового, морковного, кабачкового и капустного порошков в сочетании с гуаровой и ксантановой камедями позволяет создавать продукты, подходящие для диеты при дисфагии.

Результаты экспериментов показали, что наилучший результат по качеству отпечатанного объекта был достигнут при использовании образца №20. Этот образец продемонстрировал отсутствие пропусков, стабильность формы в течение 30 минут и успешное прохождение теста ложкой, что соответствует четвертому уровню загущения по IDDSI. Однако, для улучшения привлекательности продукта необходима коррекция режимов печати для предотвращения улучшения его внешнего вида.

Основные выводы исследования:

1. Для пациентов с дисфагией необходимо разрабатывать специализированные продукты, которые удовлетворяют их пищевые и психологические потребности.
2. Технология 3D печати позволяет создавать разнообразные по форме и цвету блюда из пюреобразных

масс, что может значительно улучшить качество жизни пациентов.

3. Использование гуаровой и ксантановой камедей в качестве загустителей показало наилучшие результаты по стабильности и текстуре печатных продуктов.
4. Продукты, созданные с использованием описанных ингредиентов и методик, соответствуют требованиям диеты для пациентов с дисфагией и, допускается, что могут использоваться в больничных условиях для реабилитации больных с дисфагией. Однако это предположение требует дополнительной апробации в больнице и проведения дополнительных испытаний.

Дальнейшие исследования будут направлены на коррекцию параметров печати для улучшения внешнего вида продукта, на коррекцию вкуса с помощью белковых усилителей вкуса и введению в состав красящих веществ, что позволит создать еще более привлекательные и питательные блюда для пациентов с дисфагией.

ВКЛАД АВТОРОВ

Бакуменко О.Е.: разработка концепции; научное руководство; написание рукописи — рецензирование и редактирование.

Малецкий М.В.: разработка концепции; проведение исследования; визуализация; написание черновика рукописи.

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT

Olesya Ye. Bakumenko: conceptualization; supervision; writing — review & editing.

Maksim V. Maletsky: conceptualization; investigation; visualization; writing — original draft.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

Белевич, В. Л. (2015). *Дифференцированная хирургическая тактика в диагностике и лечении синдрома дисфагии* [Докторская диссертация, ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург]. Санкт-Петербург, Россия.

Belevich, V. L. (2015). *Differentiated surgical tactics in the diagnosis and treatment of dysphagia syndrome* [Doctoral dissertation, S. M. Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense, St. Petersburg]. St. Petersburg, Russia. (In Russ.).

Заворохина, Н. В., Богомазова, Ю. И., & Феофилактова, О. В. (2019). Использование дескрипторно-профильного метода дегустационного анализа при разработке сывороточных напитков. *Пищевая промышленность*, 7, 45–50. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10100>

Zavorokhina, N. V., Bogomozova, Yu. I., & Feofilaktova, O. V. (2019). Using the descriptor-profile method of tasting analysis in the development of whey drinks. *Food Industry*, 7, 45–50. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10100> (In Russ.).

- Иванова, М. В., Ларина, О. Д., Норвилс, С. Н., & Царёва, И. В. (2016). *Логопедическая диагностика и реабилитация пациентов с нарушениями речи, голоса и глотания в остром периоде. Клинические рекомендации для логопедов*. Москва, Россия.
- Ivanova, M. V., Larina, O. D., Norvils, S. N., & Tsareva, I. V. (2016). *Speech therapy diagnostics and rehabilitation of patients with speech, voice and swallowing disorders in the acute period. Clinical guidelines for speech therapists*. Moscow, Russia. (In Russ).
- Комарова, А. Г., Плоскирева, А. А., Литвиненко, А. С., Кривошеева, Н. М., Амикишиев, Ш. Г., & Левин, О. С. (2022). Динамика структуры острых нарушений мозгового кровообращения в период пандемии COVID-19. *Фармакология & фармакотерапия*, 5, 74–78. https://doi.org/10.46393/27132129_2022_5_74
- Komarova, A. G., Ploskireva, A. A., Litvinenko, A. S., Krivosheeva, N. M., Amikishiyev, Sh. G., & Levin, O. S. (2022). Dynamics of the structure of acute cerebrovascular accidents during the COVID-19 pandemic. *Pharmacology & Pharmacotherapy*, 5, 74–78. https://doi.org/10.46393/27132129_2022_5_74 (In Russ.)
- Carvajal-Mena, N., Tabilo-Munizaga, G., Pérez-Won, M., Herrera-Lavados, C., Lemus-Mondaca, R., & Moreno-Osorio, L. (2023). Evaluation of physicochemical properties of starch-protein gels: Printability and postprocessing. *LWT*, 182, 114797. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114797>
- Daniels, S. K. (2006, May 16). Neurological disorders affecting oral, pharyngeal swallowing. *GI Motility online*. <https://www.nature.com/gimo/contents/pt1/full/gimo34.html>. <https://doi.org/10.1038/gimo34>
- Dick, A., Bhandari, B., & Prakash, S. (2021). Printability and textural assessment of modified-texture cooked beef pastes for dysphagia patients. *Future Foods*, 3, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2020.100006>
- Giura, L., Urtasun, L., Ansorena, D., Astiasaran, I., & Raymundo, A. (2024). Printable formulations of protein and *Chlorella vulgaris* enriched vegetable puree for dysphagia diet. *Algal Research*, 79, 103447. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103447>
- Grimm, P. R., Coleman, R., Delpire, E., & Welling, P. A. (2017). Potassium modulates electrolyte balance and blood pressure through effects on distal cell voltage and chloride. *Journal of the American Society of Nephrology*, 28(9), 2597–2606. <https://doi.org/10.1681/ASN.2016090948>
- Herrera-Lavados, C., Tabilo-Munizaga, G., Rivera-Tobar, D., Carvajal-Mena, N., Palma-Acevedo, A., Moreno-Osorio, L., & Pérez-Won, M. (2023). Development of bean-based emulgels for 3D printing applications: Feasibility for dysphagia diets. *Journal of Food Engineering*, 358, 111687. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111687>
- Kim, J., Kim, J. S., Lim, J.-H., & Moon, K.-D. (2024). Effects of isolated pea protein on honeyed red ginseng manufactured by 3D printing for patients with dysphagia. *LWT*, 191, 115570. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115570>
- Lee, A. Y., Pant, A., Pojchanun, K., Lee, C. P., An, J., Hashimoto, M., Tan, U.-X., Leo, C. H., Wong, G., Chua, C. K., & Zhang, Y. (2021). Three-dimensional printing of food foams stabilized by hydrocolloids for hydration in dysphagia. *International Journal of Bioprinting*, 7(4). <https://doi.org/10.18063/ijb.v7i4.393>
- Maciejewska, O., Kępczyńska, K., Polit, M., & Domitrz, I. (2024). Dysphagia in ischaemic stroke patients: One centre retrospective study. *Nutrients*, 16(8), 1196. <https://doi.org/10.3390/nu16081196>
- Saint Luke's Health System. (2020). *Dysphagia Diet: Level 1*. <https://www.saintlukeskc.org/health-library/dysphagia-diet-level-1>
- Xiao, K., Zhang, J., Pan, L., & Tu, K. (2024). Investigation of 3D printing product of powder-based white mushroom incorporated with soybean protein isolate as dysphagia diet. *Food Research International*, 175, 113760. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113760>