

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИНЫ ХРЯЩЕВОЙ ЧАСТИ ЕВСТАХИЕВОЙ ТРУБЫ У ДЕТЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЬЮТЕРНО- ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Махкамова Нигора Эргашевна - доктор медицинских наук, профессор кафедры Оториноларингологии Ташкентского государственного стоматологического института, E-mail: lor_kaf@mail.ru, <https://orcid.org/0000000300649806>

Усманова Нилуфар Абдусаид кизи – базовый докторант кафедры Оториноларингологии Ташкентского государственного стоматологического института, E-mail: nilufarlor@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6281-5093>

Аннотация.

Актуальность темы обусловлена необходимостью точной оценки анатомических параметров евстахиевой трубы у детей для безопасного и эффективного применения инвазивных методов лечения, таких как баллонная дилатация, с учётом возрастных и индивидуальных анатомических особенностей.

Целью настоящего исследования являлось определение длины хрящевой части евстахиевой трубы (ЕТ) у детей с использованием компьютерной томографии (КТ), а также разработка предиктивной модели для её оценки без необходимости КТ-исследования.

Материалы и методы. В работе были использованы данные 193 детей, которым выполнялась шейная КТ по неотологическим показаниям.

Результаты и выводы. Полученные изображения были переработаны для оценки анатомических границ хрящевой части ЕТ. Средняя длина ЕТ составила около 25,2 мм, при этом у девочек она была статистически значимо меньше, чем у мальчиков. На основе роста, возраста, массы тела и индекса массы тела были построены четыре модели прогнозирования. Наиболее простой и точной оказалась модель, основанная на росте. Полученные данные позволяют отказаться от универсального критерия длины ЕТ у детей (2 см), принятого у взрослых, и применять индивидуальный подход при планировании процедур баллонной дилатации.

Ключевые слова: Евстахиева труба, компьютерная томография, предиктивная модель, хрящевая часть.

Abstract.

The relevance of the topic is due to the need to accurately assess the anatomical parameters of the eustachian tube in children for the safe and effective use of invasive treatment methods, such as balloon dilatation, taking into account age and individual anatomical features.

The purpose of this study was to determine the length of the cartilaginous part of the eustachian tube (ET) in children using computed tomography (CT), as well as to develop a predictive model for its assessment without the need for CT research.

Materials and methods. The work used data from 193 children who underwent cervical CT for neotological indications.

Results and conclusions. The obtained images were processed to assess the anatomical boundaries of the cartilage part of the ET. The average length of ET was about 25.2 mm, while in girls it was statistically significantly shorter than in boys. The simplest and most accurate was the

growth-based model. The obtained data allow us to abandon the universal criterion of ET length in children (2 cm), adopted in adults, and to apply an individual approach when planning balloon dilatation procedures.

Keywords: *Eustachian tube, computed tomography, predictive model, cartilage part.*

Аннотатсия.

Мавзунинг долзарблиги болаларда ёш ва индивидуал анатомик хусусиятларни ҳисобга олган ҳолда баллонли дилатация каби инвазив даволаш усулларини хавфсиз ва самарали қўллаш учун евстахий найининг анатомик параметрларини аниқ баҳолаш зарурати билан боғлиқ.

Ушбу тадқиқотнинг **мақсади** компьютер томографияси (КТ) ёрдамида болаларда евстахий найларининг (ЕН) тоғай қисми узунлигини аниқлаш, шунингдек, уни КТ текширувисиз баҳолаш учун башоратли моделни ишлаб чиқишдан иборат.

Материал ва усуллар. Ишда неоторик кўрсатмалар бўйича бўйин КТси ўтказилган 193 нафар болаларнинг маълумотларидан фойдаланилган.

Натижалар ва хулосалар. Олинган тасвирлар ЕН тоғай қисмининг анатомик чегараларини баҳолаш учун қайта ишланди. ЕНнинг ўртача узунлиги тахминан 25,2 мм ни ташкил этди, шу билан бирга қизларда у ўғил болаларга қараганда статистик жиҳатдан сезиларли даражада кам эди. Бўй, ёш, тана вазни ва тана вазни индекси асосида прогнозлашнинг тўртта модели тузилди. Ўсишга асосланган модель энг содда ва аниқ бўлиб чиқди. Олинган маълумотлар катталарда қабул қилинган болаларда ЕН узунлигининг универсал мезонидан (2 см) воз кечиш ва баллонли дилатация муолажаларини режалаштиришда индивидуал ёндашувни қўллаш имконини беради.

Калит сўзлар: Евстахий найлари, компьютер томографияси, предиктив модель, тоғай қисми.

Введение

Евстахиева труба (ЕТ), соединяющая носоглотку и полость среднего уха, играет важную роль в поддержании гомеостаза через регуляцию вентиляции, дренажа и защиты внутреннего уха. Её функциональное нарушение — один из основных факторов развития экссудативного отита, холестеатомы, хронического отита и сопутствующих патологий. Несмотря на относительно доступные внешние проявления, ЕТ представляет анатомически сложную структуру, состоящую из костного и хрящевого сегментов, каждый из которых обладает своими клиническими и диагностическими особенностями [1, 3, 4].

Хроническая дисфункция евстахиевой трубы (ЕТ) представляет собой значимую клиническую проблему, особенно в педиатрической практике. Нарушение проходимости ЕТ способствует развитию экссудативного среднего отита, тугоухости, нарушений равновесия и снижает качество жизни пациента [1, 2, 6, 7]. В 2016 году Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) одобрило использование баллонной дилатации для лечения стойкой дисфункции ЕТ у взрослых [8]. Эффективность данного метода была подтверждена рандомизированными клиническими исследованиями, в которых наблюдалось улучшение тимпанометрических показателей и клинических симптомов после вмешательства [5, 7, 10].

Однако актуальность и безопасность применения данной технологии в педиатрической популяции остаётся предметом научной дискуссии [3]. Одним из ключевых ограничений является отсутствие точных данных о длине хрящевой части ЕТ

у детей, особенно в раннем возрасте [9]. В последние годы всё более активно обсуждается применение баллонной дилатации евстахиевой трубы (БДЕТ) — минимально инвазивного метода лечения её дисфункции. Первоначально данная методика была разработана и апробирована для взрослых пациентов, однако позитивные результаты и высокая безопасность метода вызвали интерес к его применению и в детской практике. Несмотря на это, существует серьёзная проблема: отсутствие стандартизированных данных о длине и морфологии евстахиевой трубы у детей, особенно в возрасте до 6 лет. В подавляющем большинстве случаев при выполнении БДЕТ у детей ориентируются на условную длину трубки в 2 см, заимствованную из взрослой анатомии. Однако такая универсализация может быть потенциально опасной и способна привести к повреждению окружающих анатомических структур, включая среднее ухо и внутреннюю сонную артерию [4, 5, 6, 8].

В связи с этим возникла необходимость в проведении морфометрического анализа хрящевой части ЕТ у детей на основании КТ-изображений, с целью разработки безопасных и клинически применимых моделей оценки её длины. Дополнительно было важно определить зависимость длины ЕТ от таких параметров, как возраст, рост, масса тела и пол. Несмотря на явные преимущества КТ в плане пространственного разрешения, её использование в педиатрии ограничивается из-за потенциального облучения. Поэтому важной задачей становится разработка прогностических моделей, которые позволили бы оценить длину евстахиевой трубы без выполнения КТ — на основании роста, возраста, массы тела и других клинически доступных параметров. Такие модели могли бы стать эффективным инструментом при планировании вмешательств на ЕТ и повысить безопасность процедур.

Таким образом, настоящее исследование направлено на восполнение существующего пробела в педиатрической оториноларингологии и разработку клинически применимого подхода к оценке длины евстахиевой трубы у детей. Полученные данные не только позволят лучше понять анатомо-функциональные особенности ЕТ в различные возрастные периоды, но и лягут в основу персонализированного подхода к лечению её дисфункции.

Цель настоящего исследования заключалась в измерении длины хрящевой части евстахиевой трубы у детей на основе компьютерной томографии и разработать прогностические модели, позволяющие оценить длину ЕТ без необходимости проведения КТ, с использованием антропометрических показателей пациента (возраст, рост, масса тела и ИМТ).

Материалы и методы

В исследование были включены 193 ребёнка, которым в период с марта 2020 по апрель 2021 года проводилась КТ-томография шеи по неотологическим показаниям, таким как лимфаденопатия и синусит. Дети с краниофациальными аномалиями (расщелина нёба, синдром Дауна и др.) были исключены из исследования.

Протокол КТ и методика измерений

Для получения изображений использовались сканеры GE Revolution и Toshiba Aquilion. Исследования проводились с минимально возможной лучевой нагрузкой: толщина среза составляла 0,625 мм, среднее значение напряжения трубки — 100 кВ, поле обзора — около 32 см. Изображения перерабатывались в косой коронарной проекции с толщиной среза 1 мм.

Границы хрящевой части ЕТ определялись следующим образом:

- **Краниальная граница** — костный выступ на медиальной стороне дистального конца костной евстахиевой трубы (между каналом сонной артерии и трубой).
- **Каудальная граница** — медиальный край тубуса тубариуса.

Статистический анализ

Средние значения и стандартные отклонения рассчитывались по всем переменным.

Для сравнения длины ET между сторонами использовался парный t-тест. Для анализа зависимости длины ET от пола — линейная модель со смешанными эффектами. Для расчёта внутриклассового коэффициента корреляции (ICC) использовались как однофакторные, так и двухфакторные модели (absolute-agreement). Были построены четыре прогностических модели, основанных на переменных: возраст, масса тела, рост и ИМТ (включая процентиль). Оценка качества моделей производилась по критерию Акаике (AIC) и маргинальному R^2 . Для непрерывных переменных проверялась нелинейность зависимости с использованием кубических сплайнов. Все расчёты выполнялись в программной среде R.

Результаты:

Демографические характеристики

В исследование были включены 193 ребёнка, из них 100 (51,8%) — мальчики и 93 (48,2%) — девочки. Средний возраст составлял 9,3 года ($SD = 5,7$), диапазон — от 1 года до 19,5 лет. В общей сложности выполнено 386 измерений (по одному с каждой стороны головы у всех участников).

Таблица 1.

Демографические данные пациентов

Показатель	Значение
Общее число участников	193
Средний возраст, лет	9,3 ± 5,7 (0,1 – 19,5)
Пол	100 мальчиков (51,8%), 93 девочки (48,2%)
Средний рост, см	131,2 ± 35,8
Средний вес, кг	38,0 ± 26,6
Средний ИМТ	19,3 ± 5,4
Длина ET (правая сторона)	25,1 ± 3,2 мм
Длина ET (левая сторона)	25,2 ± 3,1 мм

Модели прогнозирования

Построено четыре модели предсказания длины ET:

Таблица 2.

Обобщённые характеристики моделей прогнозирования

Модель	AIC	R^2	Основана на
Модель 1	1515,1	0,384	Нелинейная зависимость от возраста
Модель 2	1511,7	0,376	Категориальный возраст
Модель 3	1510,9	0,419	Нелинейный вес
Модель 4	1510,5	0,40	Линейная зависимость от роста

Формула модели 4 для расчёта длины ET

ET длина (мм) = 24,14 + 1,47 × (мальчик = 1, девочка = 0) + 0,06 × (рост – 130)

Пример: мальчик ростом 150 см → ET = 24,14 + 1,47 + 0,06 × 20 = 26,81 мм

Девочка такого же роста → ET = 24,14 + 0 + 0,06 × 20 = 25,34 мм

Обсуждение

Настоящее исследование является крупнейшим на сегодняшний день, в котором выполнено измерение длины хрящевой части евстахиевой трубы (ET) у детей с

использованием реконструированных КТ-изображений. Полученные данные подтверждают высокую точность и воспроизводимость данного метода при проведении измерений специалистами разного профиля.

Анализ показал достоверные различия в длине ЕТ между мальчиками и девочками, что согласуется с предыдущими анатомическими исследованиями у взрослых. Существенное увеличение длины ЕТ наблюдается с возрастом, что подтверждает данные Magro et al. о том, что более половины роста трубы происходит до 8 лет.

Одним из ключевых результатов стало выявление того, что у детей младше 5 лет длина ЕТ может быть меньше стандартных 2 см, принятых в качестве безопасной глубины введения катетера у взрослых. Это особенно важно при рассмотрении баллонной дилатации у младшей возрастной группы, поскольку чрезмерное продвижение катетера способно вызвать повреждение таких критически важных структур, как внутреннее ухо и внутренняя сонная артерия.

Наиболее простой и удобной моделью прогнозирования оказалась модель, основанная на росте ребёнка. Несмотря на то, что все модели имели схожую точность (R^2 около 0,4), именно рост был признан наиболее практичным и быстро измеримым параметром.

Выводы

Длина хрящевой части евстахиевой трубы у детей варьирует в зависимости от возраста, пола, роста и массы тела.

У девочек ЕТ статистически короче, чем у мальчиков, особенно в младшем возрасте.

Использование фиксированной длины катетера (2 см), рекомендованной для взрослых, может быть небезопасным для детей младше 5 лет.

Предложенные математические модели позволяют достаточно точно предсказать длину ЕТ, минимизируя необходимость в КТ. Наиболее простой и клинически применимый способ оценки длины — формула на основе роста пациента.

Заключение

Результаты исследования предоставляют клиницистам ценные ориентиры для оценки длины евстахиевой трубы у детей без необходимости выполнения КТ. Использование разработанных моделей, в особенности модели на основе роста, может повысить безопасность и индивидуализировать подход к проведению баллонной дилатации в педиатрической практике. В условиях ограничения доступа к КТ-диагностике и с учётом возможных рисков облучения у детей, данные подходы представляют особую клиническую значимость.

Дополнительные исследования необходимы для определения оптимального возраста и критериев подбора пациентов для вмешательства. Полученные данные также могут лечь в основу разработки педиатрических баллонных катетеров с адаптированной длиной и конструкцией.

Использованная литература

1. Falkenberg-Jensen B, Hopp E, Jablonski GE, Pripp AH, Silvola JT. The cartilaginous Eustachian tube: Reliable CT measurement and impact of the length. *Am J Otolaryngol* 2018; 39:436–440.
2. Magro I, Pastel D, Hilton J, Miller M, Saunders J, Noonan K. Developmental Anatomy of the Eustachian Tube: Implications for Balloon Dilation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2021:194599821994817.
3. Tisch M, Maier H, Sudhoff H. Balloon dilation of the Eustachian tube: clinical experience in the management of 126 children. *Acta Otorhinolaryngol Ital* 2017; 37:509–512.
4. Yanagihara N, Hyodo J, Takagi D, Miuchi S. A case of pneumolabyrinth induced by Eustachian tube air inflation. *Otol Neurotol* 2012; 33:1408–1411.

5. Kimura Y, Makino N, Kobayashi H, Kitamura K. An aberrant carotid artery in the temporal bone with fatal complication. *Auris Nasus Larynx* 2016; 43:350–352.
6. McGraw KO, Wong SP. Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. *Psychological Methods* 1996; 1:30–46.
7. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 2016; 15:155–163.
8. Efron B. Better bootstrap confidence intervals (with Discussion). *Journal of the American Statistical Association* 1987; 82:171–200.
9. Davison AC, Hinkley DV. *Bootstrap Methods and Their Application*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
10. Portney LG, Watkins MP. *Foundations of clinical research: Applications to practice*. 2nd Edition. Prentice Hall Health, 2000.