

Клиническая медицина

УДК 616.284-004

## Биомеханическое моделирование движения стремени при стапедопластике

**С.Л. Манасян, А.Х. Назанян, А.К. Погосян, А.К. Шукурян**

*ЕГМУ им. М.Гераци, кафедра ЛОР болезней  
0025, Ереван, ул. Корюна, 2*

*Ключевые слова:* сухожилия стремени, отосклероз, стапедопластика

Отосклероз – это заболевание, вызванное нарушением метаболизма костной ткани в определенной зоне височной кости. Скорость ремоделирования костной ткани уха у человека, как правило, крайне низка. При отосклерозе ингибирование роста костной ткани подавляется. Когда ремоделирование кости возникает в области овального окна и пластинки стремени, возникает фиксация последнего, что препятствует передаче звука и проявляется в кондуктивной потере слуха. Если в процесс ремоделирования кости вовлекается улитка, может возникнуть нейросенсорная тугоухость.

Заболеваемость отосклерозом варьирует в зависимости от расы, чаще встречается у представителей европеоидной расы, менее распространена в Восточной Азии и среди коренных американцев и довольно редка среди негроидной расы. Распространенность отосклероза составляет от 0,3 до 0,5%. При гистологическом исследовании на вскрытии отосклероз выявляется в 10 раз чаще, чем проявляется клинически. Бессимптомное течение отосклероза возникает, когда ремоделирование кости не влияет на подвижность стремени и на улитку.

Исследования височных костей показали, что отосклероз гистологически выявляется у 1% чернокожих и 8,3-12% представителей белой расы [6,7,10]. Более поздние исследования показали снижение распространенности от 3 до 4% [5]. Заболеваемость клинически выраженным отосклерозом снижается. Хотя гистологически отосклероз одинаково распространен у обоих полов, клинически он проявляется в 1,4-2 раза чаще у женщин, чем у мужчин. У 85-90% пациентов в отосклеротический процесс, как правило, вовлекаются оба уха [8].

Цель исследования – с позиции биомеханики провести анализ движения стремени и оценить последствия сохранения сухожилия стремени при проведении стапедопластики.

## Материал и методы

В группу оценки результатов стапедопластики с сохранением и пересечением стременной мышцы вошло 100 пациентов с отосклерозом, 35 мужчин, 65 женщин, в возрасте от 18 до 66 ( $40,18 \pm 8,74$ ) лет. Всем пациентам проведены операции на стремени с использованием тefлонового стержневого протеза: 80 стапедотомий с сохранением сухожилия стременной мышцы и 20 операций с его пересечением.

Расчетная область стремени в системе косточек среднего уха представлена на рисунке. Система координат  $Oxyz$ , в отличие от задачи о напряженно-деформированном состоянии стремени, привязана не к плоскости овального отверстия, а к плоскости подножной пластинки стремени. Размеры стремени и данные о его перемещении взяты из литературы [1–4, 9]. Стремя считается абсолютно твердым телом.

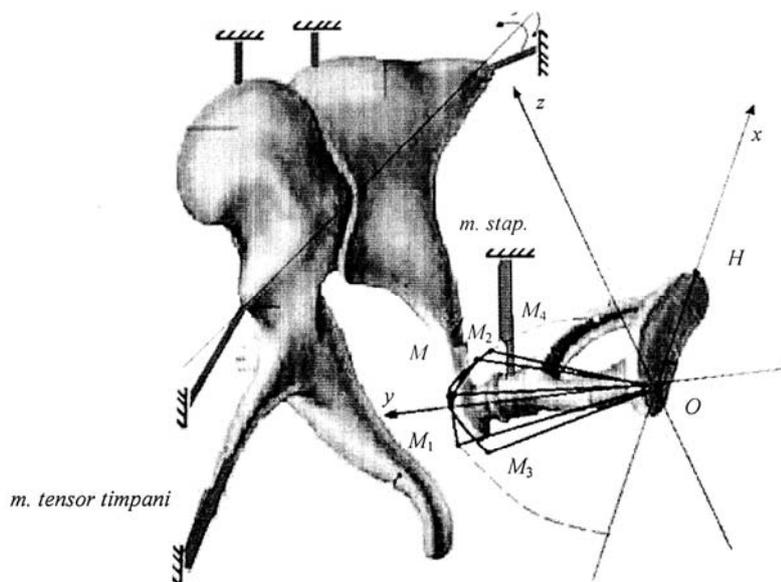


Рисунок. Цепь слуховых косточек и расчетная область стремени

Для решения задач о поочередных движениях стремени относительно осей координат использован кинематический подход.

## Результаты и обсуждение

Стремя совершает движения в овальном окне ушного лабиринта в трех плоскостях. При звуках малой интенсивности стремя может совершать поршневые движения. При воздействии звуков небольшой интенсивности (комфортный уровень) движения напоминают нажатие педали,

при интенсивных звуках (уровень звукового дискомфорта), при защитном сокращении стременной мышцы, движения стремени становятся качательными относительно продольной оси подножной пластинки.

Нами рассмотрены колебания стремени и конца длинного отростка наковальни (точки М) при двух основных видах движений стремени: колебания педального типа вокруг оси Oz, исходящей из основания задней ножки стремени, и после сокращения стременной мышцы колебания вокруг продольной оси подножной пластинки стремени Oх (рисунок). Каждое движение совершается в одной плоскости и рассмотрено в плоской системе координат. Максимальное перемещение края подножной пластинки стремени составляет порядка 0,1 мм [1–4, 9].

При кинематическом решении задач получены следующие данные: перемещение конца длинной ножки наковальни (точки М) при педальном типе движений стремени составляет  $M_1M_2 = 2MM_1 \approx 0,26$  мм, т.е. меньше 0,3 мм; при колебаниях стремени при интенсивных звуках (движения качательного типа относительно продольной оси Oх подножной пластинки) (см. рисунок) перемещение равно  $M_3M_4 = 0,92$  мм, т.е. меньше 1,0 мм. Далее были исследованы перемещения конца длинной ножки наковальни (точки М) в системе слуховых косточек после удаления стремени. Из экспериментов выявлено, что перемещения конца длинной ножки наковальни в 1,3 раза меньше, чем перемещения рукоятки молоточка [1–3]. Данное соотношение возможно при сохранении связочного аппарата цепи слуховых косточек, в том числе циркулярной связки стремени и обеих мышц среднего уха. После удаления стремени и пересечения сухожилия стременной мышцы создаются условия для того, чтобы наковальня и молоточек перемещались как единое тело, так как при этом будут отсутствовать предпосылки для движений в наковальне-молоточковом сочленении. В таком случае перемещения конца рукоятки молоточка и ленткулярного отростка длинной ножки наковальни становятся примерно одинаковыми. Перемещение точки М увеличится в 1,3 раза по сравнению с состоянием при подвижном стремени с сохраненным связочным аппаратом. После удаления стремени оставшиеся слуховые косточки приходят в новое состояние равновесия. Об этом свидетельствуют данные стапедопластики: после разъединения наковальне-стременного сочленения конец длинной ножки наковальни смещается на уровень, примерно соответствующий передней ножке стремени. При пересечении ножек стремени с сохранением сухожилия стременной мышцы конец длинной ножки наковальни остается практически на своем месте, т.е. такое новое положение равновесия меньше отличается от нормы.

В случае сохранения сухожилия и тела стременной мышцы при стапедопластике защитный акустический рефлекс (сокращение *m. stapedius*) при интенсивном звуковом стимуле будет сохраняться, но с некоторым ослаблением. При сокращении мышцы происходит поворот (от-

клонение) культы стремени в наковальне-стремennom сочленении, при этом конец длинной ножки наковальни практически не перемещается. Особенность морфологического строения мышц среднего уха состоит в том, что кроме поперечно-полосатых волокон в них имеются гладкие мышечные волокна [2]. Таким образом, сохранение сухожилия и тела стремнной мышцы позволит не только уменьшить перемещения конца длинной ножки наковальни (точки М) по сравнению с состоянием при пересечении сухожилия, но и привести измененную систему «наковальня – молоточек – протез стремени» к незначительно отличающемуся от нормы равновесию. В данном случае гладкие волокна стремнной мышцы будут играть роль демпфера, позволяющего частично погасить избыточные колебания длинной ножки наковальни, протеза стремени и, возможно, улучшить качество передачи звука с помощью протеза.

У пациентов обеих групп отмечено достоверное улучшение речевого слуха по сравнению с предоперационным уровнем ( $p = 0$ ). Однако результаты у пациентов, перенесших стапедопластику с сохранением сухожилия стремнной мышцы, были значительно лучше, чем в группе с пересечением сухожилия: достоверные отличия отмечены по уровню шепотной речи в течение первого года после операции ( $p = 0,041$ ); костно-воздушный интервала (дБ) был достоверно меньше на частотах в диапазонах 0,5–1 и 6–8 кГц за весь период трехлетнего наблюдения. В диапазоне 2–4 кГц различия в величинах костно-воздушного интервала недостоверны ( $p > 0,05$ ). В период от одного до трех лет после операции результаты после обоих видов стапедопластики выравниваются.

Биомеханическое исследование показало, что при пересечении сухожилия стремнной мышцы во время стапедопластики происходит переход системы косточек в новое состояние равновесия, которое значительно отличается от дооперационного. При этом увеличиваются перемещения конца длинной ножки наковальни, что неизбежно приводит к большим амплитудам колебаний головки протеза стремени. При большой амплитуде колебаний стремени выше опасность развития травмы рецепторов лабиринта и развития перилимфатической фистулы. При сохранении сухожилия тела стремнной мышцы и пересечения ножек стремени защитный акустический рефлекс в значительной мере ослабевает за счет того, что остатки стремени при сокращении мышцы будут поворачиваться в наковальне-стремennom сочленении, но при этом рефлекс частично сохранится. Сохранение сухожилия стремнной мышцы позволяет в меньшей степени изменить равновесие слуховых косточек после операции по сравнению с нормой. Кроме того, сохраненное сухожилие и особенно тело стремнной мышцы выполняют роль демпфера и гасят как избыточные колебания системы «наковальня – протез стремени», так и амплитуду колебаний.

По данным клинического исследования, у пациентов обеих групп получены достоверно хорошие результаты речевого и тонального слуха. Лучшие результаты слуха отмечены после операции с сохранением сухожилия стременной мышцы в диапазонах частот 0,5–1 и 2–4 кГц в течение первого года после операции на стремени.

В сравнительном биомеханическом исследовании выявлено, что сохраненная при стапедопластике стременная мышца и ее сухожилие уменьшают избыточные колебания длинной ножки наковальни, выступают в роли демпфера и позволяют в меньшей степени изменить равновесие системы слуховых косточек после операции по сравнению с нормальным состоянием. В клиническом исследовании также отмечаются преимущества операции с сохранением сухожилия стременной мышцы при вмешательстве на стремени по шепотному речевому и по тональному показателю, особенно в ближайшем послеоперационном периоде.

*Поступила 11.11.19*

### **Ասպանդակի շարժման կենսամեխանիկական մոդելավորումը ստապեդոպլաստիկայի ժամանակ**

**Ս. Լ. Մանասյան, Ա. Խ. Նազանյան, Ա.Կ. Պողոսյան, Ա.Կ. Շուքուրյան**

Հետազոտության նպատակն է կենսամեխանիկայի տեսանկյունից կատարել ասպանդակի շարժման անալիզ և գնահատել ասպանդակային մկանի ջլի պահպանմամբ ստապեդոպլաստիկայի արդյունավետությունը:

Հետազոտությանը մասնակցել են օտոսկլերոզով 100 հիվանդ՝ 18–66 տարեկան: Բոլոր հիվանդների մոտ ստապեդոպլաստիկայի ժամանակ տեղադրվել է տեֆլոնային պրոթեզ: 80 հիվանդի ստապեդոպլաստիկա է կատարվել ասպանդակային մկանի ջլի պահպանման մեթոդով, 20 հիվանդի՝ մկանի ջլի հատման մեթոդով:

### **Biomechanical Modelling of the Stapes Movement Post-stapedoplasty**

**S. L. Manasyan, A.Kh.Nazanyan, A.K. Poghosyan, A.K. Shukuryan**

The aim of this study is to analyze the movement of the stapes from the biomechanical point of view in order to evaluate the efficiency of the performed stapedoplasty carried out with stapes tendon preservation.

The study included 100 patients with otosclerosis with ages ranging from 18-66. All the participating patients underwent stapedoplasty with Teflon prosthesis replacement. Stapes tendon was preserved in 80 patients whereas in the remaining 20 it was cut.

### Литература

1. Вульштейн Х. Слухоулучшающие операции (пер. с нем.) М., 1972, с.34.
2. Кобрак Г.Г. Среднее ухо. М., 1963.
3. Преображенский Н.А., Патакина О.К. Стапедэктомия и стапедопластика при отосклерозе. М., 1973, с. 3-8.
4. Ундриц В.Ф., Темкин Я.С., Нейман Л.В. Руководство по клинической аудиологии. М., 1962, с.45-57.
5. Decur F., et al. Prevalence of histologic otosclerosis : An unbiased temporal bone study in Caucasians. Adv Otorhinolaryngol., 2007, 65:6-16.
6. Engstrom H. Über das vorkommen der otosklerose nebst experimentellen studien uber chirurgische behandlung der krankheit. Acta Otolaryngol ( Suppl.), 1940, 43, p.7-30,1-153.
7. Guild S.R. Histologic otosclerosis. Ann Otol Rhino Laryngol., 1944, 53, p.21-28, 1045-71.
8. Nager GT. Pathology of the ear and the temporal bone . 1 st ed., Williams and Wilkins, 1993, p.10-15.
9. Sim J.H., Puria S. Soft tissue morphometry of the malleus-incus complex from micro-CT imaging // J. Assoc. Res. Otolaryngology, 2008, vol. 9, p. 5–21.
10. Weber M. Otosklerose und umbau der labyrinthkapsel . Poeschel und Trepte, Leipzig, Germany, 1935.