

УДК 616.314.11-089.843:615.465

МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ШТИФТОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЕВІТАЛЬНОГО ФРОНТАЛЬНОГО ЗУБА

**Вищий державний
навчальний
заклад України
„Українська медична
стоматологічна
академія”**

**І.Ю. Попович,
Т.О. Петрушанко,
В.І. Доценко**

Відновлення зруйнованої коронкової частини зуба дозволяє ліквідувати естетичний дефект, нормалізувати функціональні властивості тканин пародонта, жувальну функцію зубощелепного апарату і запобігти психоемоційному стресу пацієнта, пов'язаному з передчасним видаленням зубів, особливо фронтальної групи [2,3].

У багатьох випадках, як показують клінічні спостереження, відновлення коронкової частини зуба неможливе без використання внутрішноканального штифта [4]. З цією метою застосовують литі кукові вкладки, стандартні металеві та склопластикові штифти. Для прямої реставрації девітальних фронтальних зубів найбільш доцільні склопластикові штифти [6,11]. У цьому аспекті важливими є питання вибору оптимальних розмірів штифта, розрахунку величини ложа у депульпованому зубі для фіксації штифта. Однозначної відповіді на ці питання поки що не знайдено. Особливо дискусійним залишається підхід до глибини занурення штифта в кореневий канал та необхідності врахування товщини стінок кореня зуба при цьому. Є думка, що довжина штифта має бути не менше $3/4$ довжини кореня, а внутрішньокоренева частина має перевищувати висоту майбутньої реставрації мінімум у 1-1,5 разу [5]. Деякі автори вважають оптимальною довжиною занурення штифта на $2/3$ довжини кореня зуба [7,10]. У той же час у зубів з невисокою коронковою частиною, які мають довгий корінь, немає необхідності такого значного занурення штифта. Тому «золотим стандартом», на думку інших учених, слід вважати орієнтир, за яким коренева частина штифтової конструкції має бути у 2 рази довша коронкової частини відновлюваного зуба. Але в деяких випадках допускається довжина кореневої частини штифта рівна довжині коронкової частини майбутнього зуба [8,9]. Є.В.Боровський, І.І.Попова вважають, що штифт має бути підібраний такого діаметра, щоб

після формування для нього посадочного ложа товщина стінок кореня зберігалася понад 1мм [4]. При цьому фіксація штифта в кореновому каналі має бути не менше ніж наполовину довжина каналу, а співвідношення коронкової і кореневої частин штифта має складати 1:3, 1:2. Бріта Віллерсхаузен та співавт. за результатами вивчення 573 зубів із пролікованими кореновими каналами, коронкова частина яких була відновлена з позицій мінімального препарування, дійшли висновку, що при відновленні коронкової частини цих зубів жодного разу не використовували штифти, які були занурені на $2/3$ довжини кореня [12]. В.Чилікін та співавт. рекомендують формувати ложе під штифт таким чином, щоб товщина стінок кореня зуба була не менше 2мм [11]. На думку В.М.Шеремета, товщина штифта має бути не більше $1/3$ діаметра кореня зуба [6].

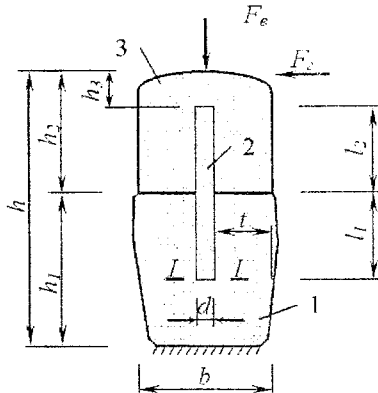
Тому надзвичайно актуальним у теоретичному та практичному відношенні є математичний розрахунок побудови оптимальної конструкції зруйнованого депульпованого фронтального зуба з урахуванням товщини стінки кореневого каналу, розмірів зуба, виду філера. Застосування методів математичного моделювання дозволяє відновлювати коронкову частину зубів із позицій наукового, індивідуального підходу до кожного окремого випадку реставрації [1].

Метою нашого дослідження стало обґрунтування вибору оптимальної глибини занурення склопластикового штифта в кореневий канал, оптимальної висоти штифта в коронковій частині зуба, підбору оптимального діаметра склопластикового штифта залежно від товщини стінок кореня фронтального зуба.

Матеріали та методи дослідження

Для досягнення поставленої мети проведений математичний розрахунок реставрації коронкової частини депульпованого центрального різця верхньої щелепи. Було запропоновано конструктивне рішення відновлення зруйнованої коронки зуба, яке передбачає фіксацію склопластикового штифта за допомогою естетичного композитного цементу подвійної полімеризації «Cailbra» (“Dentsply”) та подальше відновлення коронкової частини зуба

фотополімерним матеріалом "Еста -3". Були задані відповідні параметри, які позначені на малюнку 1.



Мал. 1. Параметри зуба, необхідні для розрахунку реставраційної конструкції

- 1 – коренева частина зуба;
- 2 – склопластиковий штифт;
- 3 – коронкова частина зуба;
- h – довжина зуба за Коуеном;
- h_1 і h_2 – відповідно висота кореневої і коронкової частин зуба;
- l_1 і l_2 – відповідно глибина занурення склопластикового штифта в кореневу і коронкову частини зуба;
- h_3 – мінімальна товщина коронкової частини реставрованого зуба над штифтом;
- d – діаметр склопластикового штифта;
- t – товщина стінки кореневої частини зуба навколо штифта;
- b – ширина зуба;
- F_e і F_z – відповідно вертикальне і горизонтальне навантаження на зуб.

Відомо, що довжина центрального верхнього різця за Коуеном становить 22,5мм, довжина кореня центрального верхнього різця – 12,9мм. Глибину занурення склопластикового штифта (l_1) ми прийняли рівною $2/3$ та $1/2$ довжини кореня зуба. Діаметр склопластикового штифта склав 1,2 мм. Максимальне горизонтальне навантаження на зуб – 17,17 Н. Максимальне вертикальне навантаження на зуб – 400 Н. Модуль пружності при згині склопластикового штифта – не менше 20 ГПа. Вигинальне напруження при руйнуванні скловолоконного штифта - не менше 700 МПа.

Можливість використання пропонованого конструктивного рішення визначається мінімальною товщиною стінки дентину навколо склопластикового штифта, необхідною для забезпечення до-

статнього рівня міцності і як наслідок - необхідними габаритними розмірами поперечного перерізу відновлюваного зуба.

Мінімальний розмір поперечного перерізу відновлюваного зуба може бути визначений за двох умов:

- забезпечення достатньої міцності дентину на рівні перерізу I-I для сприйняття вигинального моменту, викликаного горизонтальною складовою навантаження, яке виникає під час жування;
- забезпечення міцності всього поперечного перерізу дентину за одночасної дії вертикальної та горизонтальної складових навантаження.

В обох випадках у ході розрахунку було одержано рівняння четвертого порядку, яке не має точного аналітичного рішення. Тому було поставлене завдання іншого характеру: визначити максимальні напруження, які виникають на рівні перерізу I-I для габаритних розмірів поперечного перерізу зуба, що змінюються з кроком 0,2 мм.

Мінімальну висоту розташування верхньої частини штифта (l_2) в коронковій частині зуба доцільно визначити з умови рівності зусилля, яке передається верхньою і нижньою частинами штифта. Площі передачі зусилля верхньої і нижньої частин штифта мають бути оберненопропорційними значенням відповідних адгезій. Оскільки поперечний переріз штифта сталий за розміром по всій його довжині, то глибини занурення штифта в коронкову частину зуба і дентин також оберненопропорційні значенням відповідних адгезій. Отже, мінімальна довжина, на яку має виступати штифт у коронкову частину зуба, була розрахована за формулою:

$$l_2 = \frac{\tau_{\delta}^{III}}{\tau_{\kappa}^{III}} l_1 = \frac{24}{33,3} 4,4 = 3,17 \text{ мм,}$$

де: τ_{δ}^{III} – адгезія до штифта кореневого фіксуєчого матеріалу "Калібра";

τ_{κ}^{III} – адгезія до штифта матеріалу для відновлення коронкової частини зуба;

l_2 – глибина занурення штифта в коронкову частину зуба.

Результати досліджень та їх обговорення

За результатами досліджень були обчислені максимальні напруження на рівні перерізу I-I для різних габаритних розмірів поперечного перерізу зуба, викликані горизонтальною складовою навантаження, яка виникає під час жування (табл.1).

Таблица 1

Максимальні напруження на рівні перерізу I-I для різних габаритних розмірів поперечного перерізу зуба при дії на нього горизонтального навантаження (МПа)

Глибина занурення нижньої частини склопластикового штифта, мм	Мінімальний габаритний розмір зуба, мм (мінімальна товщина стінки дентину кореневого каналу навколо штифта, мм)							
	3,6 (1,2)	3,8 (1,3)	4 (1,4)	4,2 (1,5)	4,4 (1,6)	4,6 (1,7)	4,8 (1,8)	5 (1,9)
$l_1 = 6,45$	35,8	30,4	26,0	22,4	19,5	17,1	15,0	13,3
$l_1 = 8,6$	40,6	34,4	29,5	25,5	22,1	19,3	17,0	15,1

Оскільки міцність дентину при вигинанні нижче міцності дентину при стисненні і складає 24 МПа (адгезія до штифта кореневого фіксуючого матеріалу «Калібра»), необхідна товщина стінки дентину, відповідно до таблиці 1, становить 1,5 мм і більше при зануренні штифта на глибину $\frac{1}{2}$ довжини кореня ($l_1 = 6,45$ мм) і не менше 1,6 мм при зануренні штифта на глибину $\frac{2}{3}$ довжини кореня ($l_1 = 8,6$ мм). При цьому мінімальний діаметр зуба в першому варіанті занурення штифта в дентин має бути не менше 4,2 мм, а в другому варіанті - не менше 4,4 мм.

Також були отримані максимальні напруження на рівні перерізу I-I для різних габаритних розмірів поперечного перерізу зуба, викликані одночасно

дією вертикальної та горизонтальної складових навантаження (табл.2).

Оскільки міцність дентину при стисненні становить 42,6 МПа (адгезія фотополімерного матеріалу "Еста - 3" до дентину зуба), необхідна товщина стінки зуба згідно з таблицею 2 становить 1,6 мм і більше при зануренні штифта на глибину $\frac{1}{2}$ довжини кореня і не менше 1,7 мм при зануренні штифта на глибину $\frac{2}{3}$ довжини кореня. При цьому мінімальний діаметр зуба в першому варіанті має бути не менше 4,4 мм, а в другому варіанті - не менше 4,6 мм.

Таблица 2

Максимальні напруження на рівні перерізу I-I для різних габаритних розмірів поперечного перерізу зуба при дії на нього горизонтального та вертикального навантажень (МПа)

Глибина занурення нижньої частини склопластикового штифта, мм	Мінімальний габаритний розмір зуба, мм (мінімальна товщина стінки дентину навколо штифта, мм)							
	3,6 (1,2)	3,8 (1,3)	4 (1,4)	4,2 (1,5)	4,4 (1,6)	4,6 (1,7)	4,8 (1,8)	5 (1,9)
$l_1 = 6,45$	66,6	58,1	51,0	45,1	40,2	36,0	32,4	29,3
$l_1 = 8,6$	71,4	62,1	54,5	48,1	42,8	38,3	34,4	31,1

Вертикальні та горизонтальні складові навантаження, які виникають під час жування, передаються коронковою частиною реставрованого зуба і склопластиковим штифтом на дентин. У показаній на мал.1 схемі напруження основну частину горизонтальної складової навантаження сприймає і передає на дентин коронкова частина, а вертикальна складова навантаження передається спільно коронковою частиною реставрованого зуба і склопластиковим штифтом. З погляду механіки поставлене вирішення завдання відновлення зуба становить собою задачу, яку математично важко розв'язати. Значення вертикальної складової навантаження, яке передається склопластиковим штифтом на дентин, прямо пропорційне жорсткості на стиснення й штифта обернено - пропорційне жорсткості коронкової частини. Необхідна глибина

занурення склопластикового штифта в дентин може бути визначена із умови забезпечення достатньої площі адгезії штифта і дентину. Оскільки модуль поздовжньої пружності склопластикового штифта значно більше модуля пружності матеріалу коронкової частини, то деяким «запасом» можна одержати передачу повного вертикального навантаження штифтом (частково вертикальне навантаження сприймається і коронковою частиною зуба).

Умови міцності в цьому разі можна представити у вигляді формули:

$$\tau = \frac{F_{\epsilon}}{A_0} \leq \tau_0^{III},$$

де: F_{ϵ} – вертикальна складова навантаження;

A_{∂} – площа адгезії бокової циліндричної поверхні зануреного в дентин склопластикового штифта;

τ_{∂}^{III} – адгезія до штифта кореневого фіксуєчого матеріалу "Калібра".

Тоді нео τ_{∂}^{III} а площа адгезії до штифта кореневого фіксуєчого матеріалу:

$$A_{\partial} = \frac{F_6}{\tau_{\partial}^{III}} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{24} = 0,167 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 0,167 \text{ см}^2 \cdot$$

Площа бокової циліндричної поверхні зануреного в дентин склопластикового штифта має бути обчислена за формулою:

$$A_{\partial} = \pi d l_1,$$

де: $d = 1,2 \text{ мм}$ – діаметр склопластикового штифта,

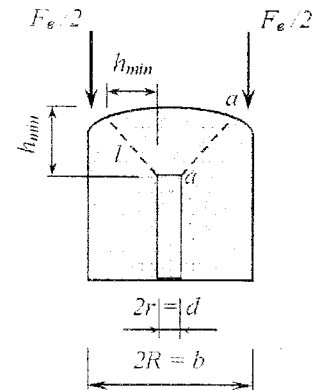
l_1 – глибина занурення склопластикового штифта в дентин.

Необхідна глибина занурення скловолоконного штифта в дентин дорівнює:

$$l_1 = \frac{A_{\partial}}{\pi d} = \frac{0,167}{3,14 \cdot 0,12} = 0,44 \text{ см} = 4,4 \text{ мм} \cdot$$

Отже, запропоновані два варіанти занурення штифта на $2/3$ та на $1/2$ довжини кореня зуба, що відповідає $8,6 \text{ мм}$ та $6,45 \text{ мм}$, цілком забезпечують передачу повного вертикального навантаження штифтом на кореневу частину зуба.

Мінімальна довжина, на яку може бути виведений штифт із дентину в коронкову частину зуба, обмежується мінімальною товщиною фотополімерного матеріалу над штифтом, необхідною для забезпечення міцності цього матеріалу, який сприймає вертикальну складову навантаження. За найбільш несприятливого навантаження коронкової частини цілеспрямованими силами, які прикладені по краях зуба, як показано на малюнку 2, руйнування може відбуватися по конічній поверхні з лінії $a-a$.



Мал.2. Визначення мінімальної товщини фотополімерного матеріалу над штифтом

Необхідна площа бокової конічної поверхні A_k визначається із умови забезпечення міцності:

$$\sigma = \frac{F_6}{A_k} \leq \sigma_p \Rightarrow$$

$$A_k = \frac{F_6}{\sigma_p} = \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{24} = 0,167 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 0,167 \text{ см}^2,$$

де: σ_p – міцність при розтягу матеріалу для відновлення коронкової частини зуба.

Площа бокової поверхні відсіченого конуса визначається за формулою:

$$A_k = \pi l(R + r) = \pi l \left(\frac{d}{2} + h_{min} + d \right) = \pi \cdot 1,41 h_{min} (h_{min} + 1,5d)$$

де: l – довжина утворюючої конуса;

R – радіус основи конуса;

r – радіус усіченої частини конуса;

d – діаметр склопластикового штифта;

h_{min} – мінімальна товщина фотополімерного матеріалу над штифтом.

Мінімальна товщина фотополімерного матеріалу над штифтом, необхідна для забезпечення міцності цього матеріалу, визначається із формули розрахунку площі бокової поверхні відсіченого конуса рішенням квадратного рівняння:

$$\frac{A_k}{1,41\pi} = h_{min}^2 + 1,5dh_{min} \Rightarrow h_{min}^2 + 1,5dh_{min} - \frac{A_k}{1,41\pi} = 0$$

$$h_{min}^2 + 1,5 \cdot 0,12 h_{min} - \frac{0,167}{1,41 \cdot 3,14} = 0 \Rightarrow h_{min}^2 + 0,18h_{min} - 0,0377 = 0$$

$$h_{min} = \frac{-0,18 + \sqrt{0,18^2 + 4 \cdot 0,0377}}{2} = 0,124 \text{ см} = 1,24 \text{ мм}.$$

Мінімальна товщина коронкової частини відновлюваного зуба над штифтом h_3 , окрім висоти, необхідної для забезпечення міцності фотополімерного матеріалу h_{min} , має враховувати товщину передбачуваного стирання h_{uz} верхньої (робочої) поверхні зуба за весь період функціонування відновленого зуба.

$$h_3 = h_{min} + h_{uz} = 1,24 + 0,7 \approx 2 \text{ мм}$$

Крім цього, в разі навантаження коронкової частини зуба цілеспрямованою силою, прикладеною по вертикальній осі зуба, для більш рівномірного розподілу виникаючої вертикальної складової навантаження між штифтом і коронковою частиною зуба висоту коронкової частини над штифтом слід приймати рівною половині ширини зуба, але не менше 2 мм.

Висновок

В результаті проведеного математичного аналізу центрального різця верхньої щелепи, який був віртуально відновлений за допомогою склопластикового штифта, зафіксованого на цемент подвійної полімеризації «Calibra», та проведеної реставрації коронкової частини зуба фотополімерним матеріалом «Еста – 3» були сформульовані такі рекомендації:

1) мінімальна товщина поперечного перерізу відновлюваного зуба, яка забезпечує міцність поперечного перерізу зуба навколо склопластикового штифта при запропонованому конструктивному рішенні відновлення, має становити не менше 4,4 мм при зануренні штифта на 6,45 мм у кореневий канал і на менше 4,6 мм при зануренні штифта на 8,6 мм;

2) мінімальна товщина стінки кореня зуба навколо штифта при його зануренні в кореневий канал на 6,45 мм має становити не менше 1,6 мм, а при зануренні штифта на 8,6 мм - не менше 1,7 мм;

3) мінімальна довжина, на яку має виступати штифт із кореневого каналу в коронкову частину відновлюваного зуба, може бути не менше 3,2 мм. Максимальну довжину, на яку може виступати штифт у коронкову частину зуба, слід обчислювати, зважаючи на положення: максимальна довжина штифта може бути рівною висоті відновлюваної частини зуба, зменшеною на половину ширини зуба, але не менше ніж на 2 мм, якщо половина ширини зуба менше 2 мм;

4) доцільніше застосовувати варіант відновлення зуба із зануренням штифта в кореневий канал на $\frac{1}{2}$ довжини кореня $l_1 = 6,45$ мм, оскільки цей

варіант забезпечує необхідну міцність відновленого зуба, менше ослаблення кореня зуба і є менш трудомістким.

Література

1. Арутюнов С.Д., Трезубов В.Н., Гаврюшин С.С., Гветадзе Р.Ш. Математическое моделирование разрушенного зуба, реставрированного композиционным материалом с армирующим элементом // Клиническая стоматология. – 2005. - №3. – С. 86-90.
2. Данилина Т.Ф. Статистическое исследование некоторых параметров, влияющих на разрушение коронки зуба // Тр. Волгоградского гос.мед. ин-та. - 1982.- Т.XXXV, Вып.5. – С. 168-171.
3. Саакян Ш.Х. Применение культевых штифтовых вкладок при разрушении коронок премоляров и моляров // Стоматология. – 1987.- №3.- С. 64-65.
4. Боровский Е.В., Попова И.И. Клинико-рентгенологический анализ применения внутриканальных штифтов при подготовке зубов к реставрации коронковой части // Стоматолог. – 2001. - №11. – С. 23-25.
5. Алаев А.О., Бродская М.В., Sibylle Schepperheup. Как выбрать штифты для эндодонтического лечения // Институт стоматологии. – 2003. - №1. – С. 82-85.
6. Шеремет В.М. Концепция оптимального восстановления зуба после эндодонтического лечения // Стоматолог. – 2003. - №8. – С. 23-24.
7. Каламкарров Х.А., Абакаров С.И. Зубное протезирование с применением фарфоровых коронок: Уч. пособие.- М., 1988. – С. 68.
8. Суркин А.Ю. Литые культевые вкладки или стандартные штифты? // Дентал Юг. – 2005.- №1. – С. 30-34.
9. Уайз М. Ошибки протезирования. Лечение пациентов с несостоятельностью зубного ряда. – М., 2005. – 408 с.
10. Антоненко А.И., Гаспарян И.А., Федотова Т.Е. Применение фибер – систем для восстановления коронки зуба // Вісник стоматології.- 2004.- №1. - С.103.
11. Чиликин В., Половец М., Дмитрович Д. Использование отечественных стекловолоконных штифтов DC light post в клинике терапевтической стоматологии // Cathedra. - 2006. – Т.5, №3.- С. 76-77.

12. Бритта Виллерсхаузен, Беньямин Бризенио, Клаус Эрнст, Хаки Текиатан, Александр Писториус. Размышления о восстановлении зубов после эндодонтического лечения // Стоматолог. – 2003. - №7. - С. 20-25.

Стаття надійшла

15.08. 2007 р.

Резюме

Проведен математический расчет выбора оптимальной глубины погружения склопластикового штифта в корневой канал, минимальной и максимальной высоты штифта в коронковой части зуба, подбора оптимального диаметра склопластикового штифта в зависимости от толщины стенок корня фронтального девитального зуба.

Ключевые слова: математическое обоснование, склопластиковые штифты, реставрация девитального фронтального зуба.

Summary

There was conducted the mathematical calculation of a choice of optimal depth of immersion of glass-plastic pin into the root canal, minimal and maximal height of the pin in the root part of a tooth, selection of optimal diameter of the glassplastic pin depending on the thickness of the walls of the root of frontal devital tooth.

Key words: mathematical grounding, glass-plastic pin, restoration of devital front tooth.