

В.О. Маланчук¹, А.В. Копчак¹, М.Г. Кришук², І.А. Лазарев³, В.А. Єщенко², Н.В. Лисейко⁴

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ СИЛИ ПРИКУСУ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ОКЛЮЗІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЛІВОК «FUJI PRESCALE» ТА СИСТЕМИ «TEKSCAN»

¹Національний медичний університет імені О.О.Богомольця

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

³Інститут травматології та ортопедії НАМН України, лабораторія біомеханіки

⁴Національний медичний університет імені О.О.Богомольця

Сучасна стоматологія та щелепно-лицева хірургія для лікування різноманітних захворювань широко використовує імплантацію штучних конструкцій та матеріалів. При проведенні остеосинтезу, реконструктивно-відновних втручань, дентальній імплантації та протезуванні зубів метою і наслідком лікування є створення складної біомеханічної системи, що за своїми структурними і фізико-механічними характеристиками відрізняється від інтактних анатомічних утворів. Здатність цієї системи адекватно сприймати і перерозподіляти функціональні навантаження в процесі жування і мовлення є одним із головних чинників, що визначають ефективність лікування в цілому.

Відомо, що сила змикання зубів у різних фазах жувального циклу різна, крім того, вона значно відрізняється в різних осіб залежно від низки місцевих та загальних чинників [1, 5]. Дослідження авторів свідчать, що сила прикусу здорової людини з інтактними зубними рядами і пародонтом може коливатися від 100 до 1500 Н і вище [4, 8, 15]. Її величина залежить від особливостей анатомічної будови нижньої щелепи і жувальних м'язів, співвідношення швидких та повільних волокон в м'язах, ступеня їх втоми, стану зубів і пародонта, наявності про-

тетичних конструкцій та їх біомеханічних характеристик, структурно-функціонального стану кісткової тканини щелеп, особливостей конституції та характеристик жувального стереотипу людини, її віку, статі, психоемоційного стану [9, 10, 12, 14].

Сила прикусу розподіляється нерівномірно по поверхні контакту зубів верхньої і нижньої щелеп. Сила в ділянці молярів при вольовому стисненні зубів виявляється вищою, що пов'язано з особливостями функціональної анатомії нижньої щелепи, яка становить собою важіль третього роду з точкою опори на ділянці скронево-нижньощелепних суглобів (СНЩС) [2,3]. Максимальна сила, що розвивається при відкушуванні їжі фронтальною групою зубів, становить 200-400 Н. Водночас на ділянці молярів і премолярів вона сягає 600-800Н [5, 8]. Оскільки площа контакту зубів у різних варіантах оклюзії є відносно невеликою, тиск, що виникає на поверхні зубів, значний і, за даними Arsan M.(1984), може перевищувати 20 МПа [6].

При травматичних ушкодженнях, дефектах і деформаціях щелеп, дисфункціональних станах, захворюваннях зубів та пародонта функціональні характеристики зубощелепної системи змінюються кількісно і якісно. Ве-

личина сили прикусу та характер її розподілу при цьому можуть суттєво відрізнитися від середніх нормальних значень. Визначення оптимальних із біомеханічної точки зору методів лікування має базуватися на визначенні індивідуальної величини жувальних навантажень і характеру їх розподілу, притаманних пацієнту.

Водночас при вивченні сили прикусу *in vivo* виникають певні проблеми, пов'язані з тим, що вибір методу дослідження та особливості його застосування здатні суттєво впливати на величину показника, що вимірюється [5, 11]. Так, використання традиційних гнатодинмометрів не дозволяє точно відтворити типові для даного індивіда особливості контакту зубів при різних типах оклюзії. Ці пристрої досить громіздкі та мають суттєві обмеження до застосування в пацієнтів із патологією зубощелепної системи, особливо коли нормальна анатомія зубних рядів і щелеп спотворена внаслідок перенесених операцій і травм.

Останнім часом значний інтерес науковців та клініцистів привертає можливість застосування високоточних вимірювальних пристроїв, що мають невеликі розміри, зокрема виконаних у вигляді тонких плівок. Відомі роботи з дослідження контактних

тисків у зубощелепній системі із застосуванням п'єзоелектричних кристалів, п'єзоелектричних та сенсорних плівок, тензодатчиків тощо [2, 7, 11].

Серед найперспективніших сучасних систем, що можуть бути застосовані для дослідження сил та тисків, що виникають при змиканні зубів, - сенсорний датчик «Tekscan» та вимірювальні плівки «Fuji Prescale» [7, 11]. Точність, інформативність та особливості застосування цих методів у клінічній практиці потребують ґрунтовного вивчення, ґрунтованого на порівняльному аналізі результатів, отриманих за їх використання.

Метою дослідження було вивчити особливості розподілу і величину контактних тисків, що виникають на поверхні зубів при різних варіантах оклюзії з використанням діагностичного пристрою «Tekscan» та вимірювальних плівок «Fuji Prescale», а також порівняти ефективність цих методів.

Матеріали і методи. Дослідження виконано в 5 здорових добровольців віком від 24 до 33 років із нормально сформованим лицевим черепом, інтактними зубними рядами, без клінічних ознак м'язово-суглобової дисфункції СНЩС. Величину і характер розподілу контактних тисків на поверхні зубів визначали в стані центральної, бокової та передньої оклюзії при вольовому стисненні зубів. Дослідження проводили за однакових умов навантаження з використанням пристрою «Tekscan Occlusal Diagnostic System» («Tekscan Inc., США) в 3 осіб та вимірювальних плівок «Fuji Prescale Pressure Measuring System» («Fuji Photo Film Co., Ltd.», Японія) у всіх пацієнтів.

У першому випадку пацієнта просили з максимальним зусиллям прикусити сенсорну пластину пристрою «Tekscan» товщиною 0,3

мм, виконану у формі зубної дуги пацієнта (рис.1). Сигнал із тензодатчика передавався на процесор персонального комп'ютера, де він оброблявся в програмному середовищі «Tekscan III» (версія 6.01T). Програма представляла дані про розподіл контактних тисків у вигляді тривимірної стовпчикової діаграми, що змінювалася в режимі реального часу, відображаючи послідовність виникнення оклюзійних контактів на окремих ділянках зубного ряду. Навантаження, що припадало на кожен зуб, виражалось у відсотках відносно максимальної сили стискування зубів. На окремих графіках фіксувалися час оклюзійного контакту та розподіл навантажень між правою і лівою половинами нижньої щелепи.



Рис. 1. Вимірювання контактних тисків, що виникають при змиканні зубів, за допомогою пристрою «Tekscan»

Вивчення величини і розподілу навантажень із використанням вимірювальних плівок «Fuji Prescale» базувалась на аналізі інтенсивності забарвлення відбитків, отриманих при змиканні зубів. Принцип методу полягав у наступному. Вимірювальна плівка містить мікрокапсули з барвником, які під дією зовнішнього тиску руйнуються. Подальша реакція приводить до утворення стійкого червоного забарвлення в місці контакту. Інтенсивність забарвлення, що змінюється в діапазоні від блідо-рожевого до яскраво-червоного, пропорційна величині прикладеного тиску. Для

точного визначення цієї величини інтенсивність забарвлення порівнювали з калібрувальним шаблоном, урахувавши температуру і вологість, що відповідали умовам досліду. Для дослідження використовували плівку типу MS, що працює в діапазоні 10-50 МПа. Нормативна похибка вимірювання при цьому не перевищувала 10%.

Отримані на вимірювальній плівці відбитки було оцифровано за допомогою сканера з роздільною здатністю 300 точок на дюйм і переведено для подальшого дослідження в розроблену нами комп'ютерну програму, яка дозволяє обробляти графічні зображення контактних тисків, зареєстрованих in vivo, відповідно до відомого діапазону градієнту тисків. У програмі для кожного окремого графічного файлу номінували шкалу інтенсивності кольору в градієнтах сірого. Використовуючи масштабний коефіцієнт перетворення поля точок растрового зображення в числові дані матриць градієнтів інтенсивності, зображення розбивали на 5-10 діапазонів за щільністю забарвлення. Результати математичної обробки зображень шляхом обчислення площі екстремальних (пікових) величин контактних тисків було представлено у вигляді дискретно ранжированих гістограм із кількісним описанням їхніх значень (рис.2, 3).

Визначені величини площ контакту поверхні зубів, що відповідали певному значенню тиску, використовували для розрахунку сили прикусу шляхом інтегрування.

Відображення градієнта інтенсивності тиску за даними вимірювальної плівки представляли в тривимірних координатах. Для цього значення інтенсивності кольору точки за монохромною шкалою було пов'язано з координатами векторів X та Y на гра-

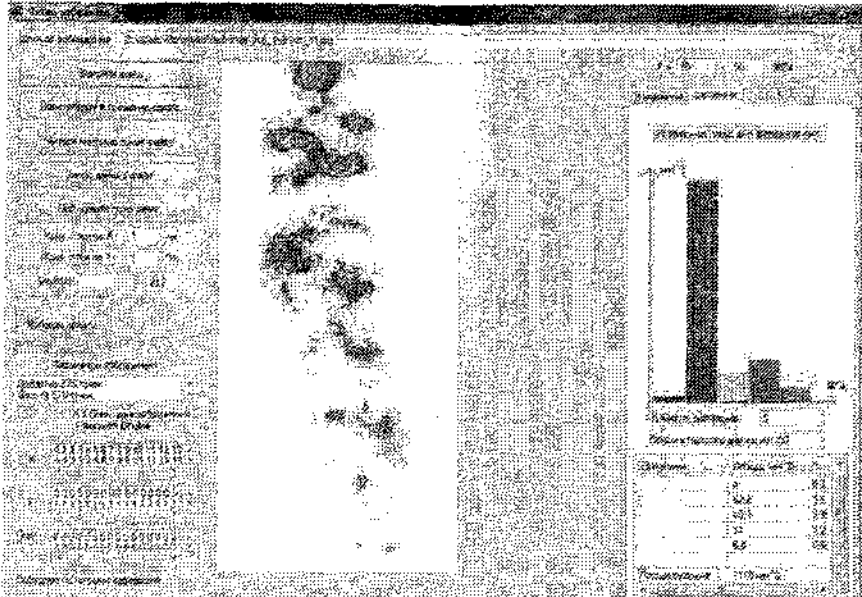


Рис.2. Математична обробка відбитків, отриманих за допомогою плівок, у спеціально розробленому програмному середовищі



Рис.3. Відбиток контактної поверхні зубів, отриманий за допомогою вимірювальних плівок у стані бокової оклюзії (а), та його графічне представлення в 5 градiєнтах iнтенсивностi тиску (б)

фічному зображенні з подальшим отриманням поля точок у заданій площині тривимірної декартової системи координат. Після розбиття регулярної сітки за габаритами рисунка, піки по вісі Z, що відображали величину тиску, були забарвлені палітрою кольорів відповідно до їх iнтенсивностi (min - синій, max - червоний). Тривимірну гістограму розподілу тиску порівнювали з результата-

ми, отриманими за допомогою системи «Tekscan», у момент часу, що відповідав максимальній силі стискання зубів.

Під час стискання зубів у різних положеннях за даними електроміографічного дослідження, проведеного на чотириканальному комплексі «Reporter» («Esaotebiomedica») визначали біоелектричну активність власне жувальних та скроневих м'язів.

Наявність взаємозв'язків між силою скорочення жувальних м'язів та силою прикусу вивчали з використанням коефіцієнта рангової кореляції Спірмена.

Результати та їх обговорення. У положенні центральної оклюзії при вольовому стисненні зубів амплітуда біоелектричної активності жувальних м'язів була максимальною. Навантаження зростало від появи перших контактів зубів до свого максимального значення протягом 0,09-0,2 с. Після цього величина контактних тисків підтримувалась на сталому рівні (коливання в межах 1-5%) протягом 0,85-0,95 с. Супраконтакти були виявлені у 2 пацієнтів. Загальний час контакту зубів у положенні центральної оклюзії становив 1,1-1,2 с.

Розподіл контактних тисків виявлявся нерівномірним. За даними пристрою «Tekscan», найбільші навантаження припадали на перший і другий моляри (від 7 до 18% загальної сили прикусу на кожен зуб). На премоляри, ікла і різці припадало від 1 до 10 %. Була виявлена також певна асиметрія в розподілі навантажень між правим і лівим боками щелепи. У різних пацієнтів розбіжності коливались у межах від 4 до 8%, що відображало особливості індивідуального жувального стереотипу пацієнта (рис.3).

Асиметрія в розподілі жувальних навантажень виявлялась на тлі наявної асиметрії біоелектричної активності жувальних м'язів. Розбіжності у величині амплітуд електричної активності між однойменними м'язами правого і лівого боків коливались від 4 до 28%.

При аналізі вимірювальних плівок було уточнено числові дані щодо характеру розподілу контактних тисків, визначено їхню величину та загальну площу контакту зубів при вольовому стисканні м'язів. При центральній

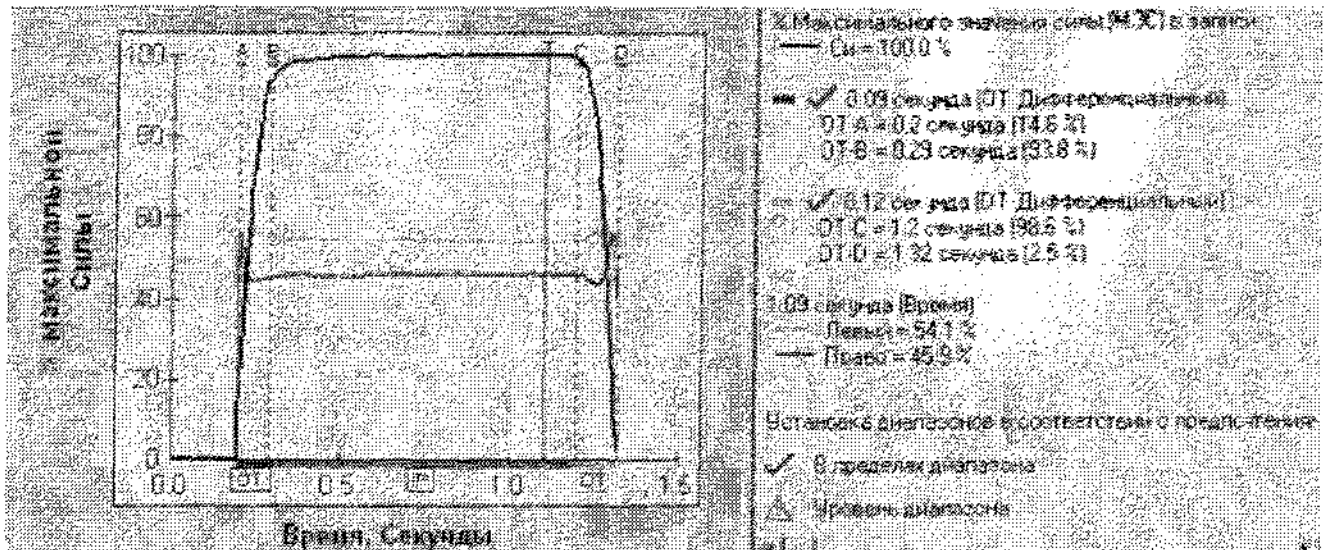


Рис. 4. Зміна величини жувального навантаження та її розподіл між правим і лівим боками, отримана за допомогою пристрою «Tekscan» при змиканні зубів у стані центральної оклюзії

оклюзії у всіх пацієнтів виявляли наявність множинних контактів зубів, що на ділянці різців мали лінійну форму, а на ділянці іклів, премолярів і молярів - вигляд контактних точок або площадок різного розміру. Характеристики відбитків поверхні зубів, отримані за допомогою чутливої плівки «Fuji Prescale», мали суттєві індивідуальні відмінності, що визначалося головним чином анатомією оклюзійної поверхні зубів та силою скорочення жувальних м'язів.

Загальна площа контакту зубів при центральній оклюзії коливалась від 24 до 37 мм². На ділянці фігурно-горбикових контактів молярів і премолярів контактні тиски сягали максимуму. Їхня величина в різних пацієнтів визначалась у межах діапазону 42-50 МПа.

Розрахунок сили прикусу дозволив визначити як величину максимальної сили стискання зубів, так і особливості її розподілу на різних ділянках. Розрахункове значення цієї величини коливалось від 854 Н до 1290 Н, а в середньому становило 1086±193 Н. Отримані величини знаходяться в межах діапазону, визначеного в попередніх дослідженнях із за-

стосуванням гнатодинамометрії [5,8], що підтверджує вірогідність отриманих даних.

Характер розподілу напружень у цілому узгоджувався з даними, отриманими за допомогою пристрою «Tekscan» (рис.5). Так, розбіжності у визначенні частки навантаження, що припадала на правий чи лівий бік, для різних пацієнтів становили від 2 до 8,5 %. Основні відмінності в характері розподілу навантажень між окремими зубами були зумовлені тим, що при застосуванні вимірювальних плівок відбиток фіксував максимальні величини контактних тисків, що розвивалися протягом одного циклу навантаження, не враховуючи послідовності виникнення контактів та змін у характері розподілу навантажень, що розвивались у часі. Водночас, оскільки ці зміни при досягненні максимальної сили стискання зубів були незначними, відмінності отриманих результатів також виявлялися несуттєвими. Це підтверджує думку Osborn J.W. (1985), що для розв'язання більшості задач біомеханіки зубощелепної системи жувальні навантаження можна розглядати як статичні, нехтуючи динамічними й інерційними ефектами [13].

Зміна характеру змикання зубів супроводжувалася змінами біоелектричної активності жувальних м'язів, сили прикусу та особливостей її розподілу. Так, при передній оклюзії сила скорочення жувальних і скроневих м'язів зменшувалась, інколи - досить суттєво (в 1,2-3 рази). Сила прикусу, визначена за допомогою вимірювальних плівок, у середньому склала 265±70 Н. У контакті при цьому перебували центральні та бокові різці й ікла (в 3 пацієнтів). Величина контактних тисків залишалася високою, здебільшого перевищувала 40 МПа, однак площа контакту зубів була значно меншою, ніж при центральній оклюзії. Максимальна сила прикусу досягалася досить швидко, однак надалі за збереженого контакту зубів сила повільно зменшувалася на 5-10%.

У стані бокової оклюзії величина біопотенціалу жувальних м'язів на робочому боці наближалася до максимальних значень, натомість на балансуєчому боці цей показник зменшувався, більшою мірою для жувального м'яза. У контакті перебували моляри, премоляри та ікло на робочому боці. Контактні ділянки на відбитку мали округлу або неправиль-

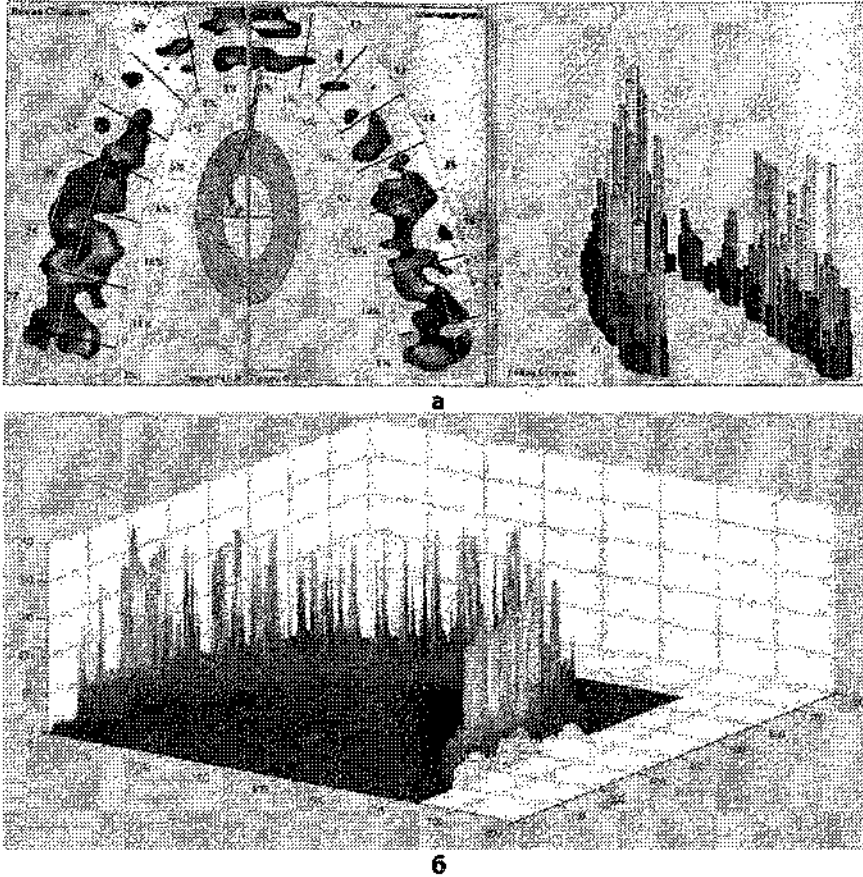


Рис. 5. Графічна візуалізація розподілу контактних тисків, отримана в програмному середовищі «Tekscan III» (а) та в спеціально розробленій програмі для аналізу відбитків, отриманих за допомогою вимірювальних плівок (б) під час дослідження в одного пацієнта за сталих умов навантаження

ну форму, загальна площа контакту становила від 14 до 20 мм². Сила прикусу коливалася від 518 до 771 Н, а в середньому склала 676+111Н. Характер розподілу навантажень, отриманий за допомогою вимірювальних плівок і пристрою «Tekscan», якісно не відрізнявся.

У всіх варіантах оклюзії сила прикусу була пропорційною величині біоелектричної активності жувальних м'язів. При центральній оклюзії коефіцієнт кореляції дорівнював 0,92 ($p < 0,05$) для власне жувальних м'язів та 0,96 ($p < 0,05$) для скроневих м'язів. Зменшення сили прикусу при передній і боковій оклюзії було зумовлене, більшою мірою, змінами біоелектричної активності власне жувальних м'язів, що узгоджується з результатами, отриманими

низкою авторів при проведенні подібних досліджень [9, 15].

Отже, застосування електронного пристрою «Tekscan» та вимірювальних плівок «Fuji Prescale Pressure Measuring System» дозволяє з високою точністю визначати особливості розподілу контактних тисків на поверхні зубів у різних варіантах оклюзії. Обидва методи демонструють високий рівень відповідності отриманих даних за однакових умов навантаження. Це узгоджується з даними, отриманими Vachus K.N. та співавторами (2006) у простіших натурних експериментах, згідно з якими величина розбіжностей при застосуванні цих двох методів не перевищувала 5% [7].

Перевагою сенсорного датчика «Tekscan» можна вважати можливість дослідження послідовності

виникнення міжзубних контактів та змін у розподілі жувальних навантажень у режимі реального часу. Водночас визначення абсолютної величини контактних тисків потребує складного калібрування пристрою і зазвичай у практичній стоматології не використовується. Абсолютну величину контактних тисків, площі контакту зубів та силу прикусу можна визначити шляхом аналізу відбитків, отриманих на вимірювальних плівках «Fuji Prescale» із застосуванням розробленої нами комп'ютерної програми. Цей метод технічно простий і може бути широко застосований для визначення сили прикусу пацієнтів із захворюваннями і травматичними ушкодженнями щелепно-лицевої ділянки.

Висновки

1. Застосування вимірювальних плівок «Fuji Prescale Pressure Measuring System» дозволяє з високою точністю визначати величину й особливості розподілу контактних тисків на поверхні зубів у різних варіантах оклюзії, а також вимірювати площу контакту зубів та розраховувати силу прикусу, що виникає при цьому.

2. Результати визначення величини й особливостей розподілу контактних тисків при змиканні зубів, отримані з використанням системи «Tekscan Occlusal Diagnostic System», якісно і кількісно відповідають результатам, отриманим із використанням вимірювальних плівок «Fuji Prescale». Величина розбіжностей за головними параметрами становила від 2 до 8,5%.

3. Величина жувального навантаження та особливості його розподілу в нормі характеризуються значними індивідуальними варіаціями і залежать від анатомічних характеристик зубощелепної системи, сили скорочення жувальних м'язів та виду оклюзії.

Література

1. Гросс М.Д. Нормализация окклюзии / М.Д. Гросс, Дж.Д. Мэтьюс ; пер. с англ. — М.: Медицина, 1986. — 288 с.
2. Матрос-Таранец И.Н. Биомеханические исследования в экспериментальной стоматологии / Матрос-Таранец И.Н. — Донецк, 1998. — 122 с.
3. Семенников В.И. Туманюк А.Н. Метод механико-математического исследования усилий и напряжений в нижней челюсти при физиологической нагрузке / В.И. Семенников, А.Н. Туманюк // Стоматология. - 1983. - №3. - С.23-25.
4. Чуйко А.Н. Особенности биомеханики в стоматологии / А.Н. Чуйко, В.Е. Вовк. — Х.: Прапор, 2006. - 304 с.
5. Advanced osseointegration surgery: applications in the maxillofacial region / edited by P. Worthington, P.I. Branemark. — Quintessence Publishing, 1992. — 403 p.
6. Arcan M. A method for in vivo quantitative occlusal strain and stress analysis / M. Arcan, F.A. Zandman // J. Biomech. — 1984. — Vol. 17. — P. 67-79.
7. Measuring contact area, force, and pressure for bioengineering applications: using Fuji Film and TekScan systems / K.N. Bachus, A.L. DeMarco, K.T. Judd [et al.] // Med. Eng. Phys. — 2006. — Vol. 28(5). — P. 483-488.
8. Bates J.F. Masticatory function – a review of the literature. Speed of Movement of the Mandible. Rate of chewing and forces developed in chewing / J.F. Bates, G.D. Stafford, A. Harrison // J. Oral Rehabil. — 1975. — Vol.2. — P. 349-361.
9. Reliability of electromyographic activity vs. bite-force from human masticatory muscles. / Y. Gonzalez, L.R. Iwasaki, W.D. Jr. [et al.] // Eur. J. Oral Sci. — 2011. — Vol.119(3). — P. 219-224.
10. Koc D. Effect of gender, facial dimensions, body mass index and type of functional occlusion on bite force / D. Koc, A. Dogan, B. Bek // J. Appl. Oral Sci. — 2011. — Vol. 19(3). — P.274-279.
11. Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch / B. Koos, A. Godt, C. Schille, [et al.] // J. Orofac. Orthop. — 2010. — Vol. 71(6). — P. 403-410.
12. Relative contributions of occlusion, maximum bite force, and chewing cycle kinematics to masticatory performance / C.R. Lepley, G.S. Throckmorton, R.F. Ceen [et al.] // Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. — 2011. — Vol. 139(5). — P.606-613.
13. Osborn J.W. Predicted pattern of human muscle activity during clenching derived from a computer assisted model / J.W. Osborn, F.A. Baragar // J. Biomech. — 1985. — Vol.18. — P.599-612.
14. Raiph W.J. The effects of dental treatment on biting force / W.J. Raiph // J. Prosthet Dent. - 1979. - Vol. 41. — P.143.
15. Comparison of jaw-muscle bite-force cross-sections obtained by means of magnetic resonance imaging and high-resolution CT scanning / P.H. van Spronsen, W.A. Weljs, J. Valk [et al.] // J. Dent. Res. — 1989. — Vol.68. — P.1765-1770.

Стаття надійшла
3.10.2011 р.

Резюме

У ході дослідження було вивчено особливості розподілу і величину контактних тисків, що виникають на поверхні зубів у різних варіантах оклюзії в здорових осіб, із використанням діагностичного пристрою «Tekscan» та вимірювальних плівок «Fuji Prescale». Результати, отримані цими методами, були якісно і кількісно однорідними, похибка вимірів не перевищувала 8,5%. Установлено, що величина жувального навантаження та особливості його розподілу в нормі характеризуються значними індивідуальними варіаціями і залежать від анатомічних характеристик зубощелепної системи, сили скорочення жувальних м'язів та виду оклюзії. Перевагою застосування вимірювальних плівок «Fuji Prescale» була можливість розрахунку сили прикусу в різних варіантах оклюзії на основі визначення величини і характеру розподілу контактних тисків на оклюзійній поверхні зубів та площі міжзубних контактів.

Ключові слова: біомеханіка, жувальний апарат, сила прикусу, оклюзія, контактний тиск, тензодатчики.

Резюме

В ходе исследований были изучены особенности распределения и величина контактного давления, которые возникают на поверхности зубов при разных вариантах окклюзии у здоровых лиц, с использованием диагностического устройства «Tekscan» и измерительных пленок «Fuji Prescale». Результаты, полученные этими методами, были качественно и количественно однородными, погрешность измерений не превышала 8,5%. Установлено, что величина жевательной нагрузки и особенности ее распределения в норме характеризуются значительными индивидуальными вариациями и зависят от анатомических характеристик зубочелюстной системы, силы сокращения жевательных мышц и вида окклюзии. Преимуществом использования измерительных пленок «Fuji Prescale» была возможность расчета силы прикуса при различных вариантах окклюзии на основании определения величины и характера распределения контактного давления на окклюзионной поверхности зубов и площади межзубных контактов.

Ключевые слова: биомеханика, жевательный аппарат, сила прикуса, окклюзия, контактное давление, тензодатчики.

Summary

The peculiarities of the bite forces distribution on the teeth surfaces were studied in various occlusal conditions using Tekscan System and Fuji Prescale Pressure Measuring Films. The results obtained by both methods showed good conformity with an error less than 8.5%. It was found out, that the value of the bite force and its distribution in normal subjects was characterized by significant individual variations, depending on anatomical characteristics of the masticatory system, muscular force and occlusion type. The main advantage of the Fuji Prescale measuring system was the possibility to calculate the integral bite forces on the basis of the determination of the contact stress values, their distribution and the area of the occlusal contacts.

Key words: biomechanics, masticatory system, bite force, occlusion, contact pressure, tensoprobes.