

УДК 617.55-002-07

Лисенко Р.Б.

ВИВЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ЗМІН ПЕРЕДНЬОЇ ЧЕРЕВНОЇ СТІНКИ ПРИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

ВДНЗУ "Українська медична стоматологічна академія", м. Полтава

У роботі наведені результати дослідження деформаційних змін передньої черевної стінки (ПЧС) при функціональних навантаженнях. Дослідження проведене у 29 здорових добровольців віком від 18 до 45 років - проведений аналіз руху і деформаційні зміни ПЧС під час максимального надування живота (основна група) і у 27 пацієнтів віком від 20 до 47 років, яким виконувалися лапароскопічні оперативні втручання (контрольна група) з інсуфляцією у черевну порожнину вуглекислого газу до тиску 12 мм.рт.ст.. Дослідження показали наступні зміни механічних властивостей тканин ПЧС: середні показники деформації у поздовжньому напрямку становили 6% основної групи і 12% - контрольної; деформації у поперечному напрямку становили 3% основної групи і 8% - контрольної; деформація у поздовжньому напрямку перевищувала деформацію у поперечному на 38-54% (у середньому на 46%); площа ПЧС основної групи збільшувалася на 10%, а контрольної – на 22% (в середньому на 16%); модуль пружності тканин ПЧС у поздовжньому напрямку менший, ніж в поперечному в середньому на 44% ($p > 0,05$).

Ключові слова: передня черевна стінка, функціональні навантаження, деформація, модуль пружності, анізотропні механічні властивості

Вступ

Діагностика і подальше визначення механічних властивостей різних дефектів передньої черевної стінки (ПЧС) часто вимагають детальної інформації про зміни в її структурі і функціях при функціональних навантаженнях [2, 3, 4, 5, 7, 8].

Однією зі сфер найбільш ефективної реалізації біомеханічних досліджень тканин з'явився комплекс морфо-біомеханічних наук. Тут накопичилися дані щодо біомеханічних властивостей тканин, пружно-деформаційних параметрів тканин і органів, поведінки організму, як біодинамічної системи [3, 5, 7, 9].

Реконструкція пружних властивостей – надійний спосіб виявлення і попередження патології м'яких біологічних тканин [2, 7, 8]. У той же час ми маємо вкрай недостатньо досліджені деформаційні можливості тканин ПЧС.

Різноманітні за природою сили, що діють під час функціонального навантаження на анатомічні структури ПЧС характеризуються напрямком, величиною, тривалістю їх дії. Під дією зовнішніх сил (внутрішньочеревний тиск) тканини ПЧС змінюють об'єм та форму за рахунок деформації розтягування, здвигу, згину або їх суперпозиції [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9].

Вивчення механічних властивостей людської ПЧС, що визначається в природних умовах при функціональних навантаженнях та при інсуфляції вуглекислого газу в черевну порожнину при лапароскопічних хірургічних втручаннях надає унікальну можливість для вимірювання деяких її механічних властивостей, що до цього часу мало вивчено.

Мета дослідження

Вивчити деформаційні зміни ПЧС при функціональних навантаженнях

Матеріал та методи

Механічні властивості м'язово-апоневротичних тканин ПЧС досліджували в межах експериментально-визначеного фізіологі-

чного діапазону пружних фізико-механічних властивостей [4, 5].

Дослідження проведене у 29 здорових добровольців віком від 18 до 45 років - проведений аналіз руху і деформаційні зміни ПЧС під час максимального надування живота (основна група) і у 27 пацієнтів віком від 20 до 47 років, яким виконувалися лапароскопічні оперативні втручання (контрольна група) з інсуфляцією у черевну порожнину вуглекислого газу до тиску 12 мм рт.ст.. За даними Всесвітнього Суспільства Абдомінального Компармент Синдрому (WSACS), значення внутрішньочеревного тиску людини у нормі не перевищує 12 мм. рт. ст., що рівне 0.0016 МПа у системі СІ.

Групи були сформовані методом типологічного відбору за наявністю критеріїв виключення – відсутність дефектів, післяопераційних рубців ПЧС та ожиріння. Досліджені пацієнти основної групи і контрольної групи за основними клінічними показниками, включаючи вік, стать, супутня патологія були репрезентативні.

Проводили наступні дії: вимірювання параметрів ПЧС у спокої - деформація тканин ПЧС - вимірювання меж їх зміщення - реконструкція механічних властивостей (порівняно з положенням у спокої). Механічні властивості ПЧС пацієнтів основної групи визначали в положенні пацієнта лежачи на спині у спокої та під час максимального надування живота, а контрольної – лежачи на операційному столі після інкубації (спокій) та після проведення карбоксиперитонеуму через голку Вереша до тиску 12 мм рт.ст.. Сантиметровою смужкою вимірювали відстань від мечоподібного відростка до верхнього краю лона (поздовжній розмір живота) і відстань між латеральними краями прямих м'язами живота (поперечний розмір живота). Надалі, за отриманими даними, визначали площу ПЧС. Співставляли зміни цих параметрів пацієнтів основної і контрольної груп при максимальному надуванні живота із параметрами, що були отримані у спокої. Ці дані разом із відомими товщини ПЧС кожного пацієнта, що

вимірювалися ультразвуковим скануванням, включені до оцінки механічної міцності тканин ПЧС.

Напруження отримували за форму-

лою: $\sigma = F/S$, де F - сила натягу в Н ($p = 0.0016$ МПа), S - поперечний переріз у мм. Маючи значення максимального напруження (σ) і відносної деформації (Δ) розраховувався максимальний модуль пружності (E^{\max}) тканин ПЧС за формулою: $E^{\max} = \sigma^{\max} / \Delta$ [6].

Тканини ПЧС є гіперпружними матеріалами з великими деформаціями та переміщеннями. Наближена оцінка відносного видовження поверхні ПЧС та напружень її шарів при заданому тиску визначена за рівнянням Лапласа для статичної рівноваги тонкостінної оболонки сферичного типу при однорідній деформації. Для вивчення рівня анізотропії і неоднорідності тканин ПЧС її властивості розглядали, як лінійно ортотропні для кожного дискретного однорідного об'єму моделі ПЧС із трьома взаємно ортогональними площинами симетрії декартової системи координат. Визначення величин для тензора пружних сталих неоднорідного тіла моделі ПЧС проводили в локальній системі координат для кожного попередньо визначеного об'єму з відомими експериментальними даними матеріальних констант для модуля пружності та коефіцієнтів поперечної деформації [5, 6].

Результати досліджень та їх обговорення

Вимірювання механічних властивостей ПЧС отримані з використанням системи дистанційного аналізу руху. Даний спосіб надає можливість вимірювання деяких механічних властивостей людської ПЧС, що до цього часу не проводилося.

Спостерігали відмінність механічних характеристик і різний характер деформування тканин ПЧС при максимальних навантаженнях від характеристик у спокої. Дослідження показали наступні зміни механічних властивостей тканин ПЧС: середні показники деформації у поздовжньому напрямку становили 6% основної групи і 12% - контрольної; деформації у поперечному напрямку становили 3% основної групи і 8% - контрольної; деформація у поздовжньому напрямку перевищувала деформацію у поперечному на 38-54% (у середньому на 46%); площа ПЧС основної групи збільшувалася на 10%, а контрольної – на 22% (в середньому на 16%).

Наші дослідження показали, що ПЧС жорсткіша в поперечній площині, ніж у сагітальній площині (модуль Юнга 43,5 + / - 9,0 кПа проти 23,5 + / - 2,6 кПа, $p = 0,03$ парного критерію Стьюдента).

Таким чином, у досліджуваних групах модуль пружності тканин ПЧС, при однаковій силі впливу, у поздовжньому напрямку менше, ніж в по-

перечному в середньому на 44% ($p > 0,05$). Механічні властивості тканин ПЧС людини відрізняються вздовж і поперек білої лінії живота. Максимальну міцність і жорсткість вони мають поперек білої лінії, а найбільшу еластичність – вздовж. Міцність тканини ПЧС у чоловіків в обох напрямках була достовірно вища, ніж у жінок.

Отримані дані свідчать, що зменшення жорсткості ПЧС у сагітальному напрямку при максимальних функціональних навантаженнях створює несприятливі біомеханічні умови для функціонування біомеханічної системи «ПЧС-імплантант» при виконанні алопластики з застосуванням сіток із виразними анізотропними властивостями. Тому недостатні знання хірурга щодо механічної неоднорідності тканин ПЧС та нехтування анізотропією її пружних властивостей у різних напрямках при функціональних навантаженнях при виконанні алопластики ПЧС для закриття дефектів може призводити до виникнення помилок у виборі виду імплантату та особливостей його розташування і сприяти розвитку рецидиву.

Висновки

Кількісна реконструкція просторового розподілу механічних властивостей тканин ПЧС за даними про характер деформування при максимальному навантаженні у порівнянні з інформацією про те, як ці властивості залежать від фізіологічного стану тканин у спокої, дає додаткову можливість оцінки біомеханіки ПЧС. Величина деформації ПЧС у різних напрямках різна і залежить не тільки від механічних властивостей тканин, але й від особливостей її архітекtonіки та умов навантаження. Вплив фізико-механічних анізотропних характеристик тканин ПЧС суттєво позначається на величині діючих напружень і деформацій, що необхідно враховувати при застосуванні методики алопластики.

Література

1. Албаут Г.Н. Концентрация напряжений и деформаций в эластомерах / Г.Н. Албаут, Н.В. Харина // Надежность и долговечность машин и сооружений: междунар. науч.-техн. сб. - Киев, 2006. - № 26. - С. 135-141.
2. Бага Д.К. Биомеханические свойства ткани белой линии живота, компьютерное моделирование в герниологии / С.М.Лазарев, П.И. Бегун, Д.К. Бага, Е.А. Лебедева // Актуальные вопросы герниологии : материалы 5-й междунар. конф. - М., 2006. - С. 54-55.
3. Березовский В.А. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник. / Березовский В.А., Колотилев Н.Н. - Киев: Наукова думка, 1990. - 224 с.
4. Жуковский В.А. Полимерные эндопротезы для герниопластики / Жуковский В.А. - СПб.: Эскулап, 2011. - 114 с.
5. Пашковин Т.Н. Механические характеристики мягких биологических тканей / Т.Н. Пашковин, А.П. Сарвазян // Биомеханика. - 2003. - № 3. - С. 105-115.
6. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Наукова думка, 1988. - 736 с.
7. Федоров А.Е. Моделирование поведения кожи человека при больших деформациях / А.Е. Федоров, А.А. Адамов // Российский журнал биомеханики. - 2007. - Т. 11, № 1. - С. 76-83.
8. Цаплин С.Н. Биомеханика передней брюшной стенки, выбор оптимального операционного доступа и техники закрытия лапаротомной раны: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. мед.наук.: спец. 14.01.17 – «Хирургия» / С.Н. Цаплин - М., 2011. - 24с.

9. Korobeynikov S.N. Objective tensor rates and applications in formulation of hyperelastic relations // *Journal of Elasticity*. 2008. V. 93, No 2. P. 105-140.

References

1. Albaut G.N. Koncentracija naprijazhenij i deformacij v jelastomerah / G.N. Albaut, N.V. Harinova // *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i sooruzhenij: mezhdunar. nauch.-tehn. sb.* - Kiev, 2006. - № 26. - S. 135-141.
2. Baga D.K. Biomechanicheskie svojstva tkani beloij linii zhivota, komp'juternoe modelirovanie v gerniologii / S.M.Lazarev, P.I. Begun, D.K. Baga, E.A. Lebedeva // *Aktual'nye voprosy gerniologii: materialy 5-j mezhdunar. konf.* - M., 2006. - S. 54-55.
3. Berezovskij V.A. Biofizicheskie harakteristiki tkanej cheloveka. Spravochnik. / Berezovskij V.A., Kolotilov N.N. - Kiev: Naukova dumka, 1990. - 224 s.
4. Zhukovskij V.A. Polimernye jendoprotezy dlja gernioplastiki / Zhukovskij V.A. - SPb.: Jeskulap, 2011. - 114 s.

5. Pashkovin T.N. Mehanicheskie harakteristiki mjagkih biologicheskijh tkanej / T.N. Pashkovin, A.P. Sarvazjan // *Biomehanika*. - 2003. - № 3. - S. 105-115.
6. Pisarenko G.S. Spravochnik po soprotivleniju materialov / Pisarenko G.S., Jakovlev A.P., Matveev V.V.; 2-e izd., pererab. i dop. - Kiev: Naukova dumka, 1988. - 736 s.
7. Fedorov A.E. Modelirovanie povedenija kozhi cheloveka pri bol'shijh deformacijah / A.E. Fedorov, A.A. Adamov // *Rossijskij zhurnal biomehaniki*. - 2007. - T. 11, № 1. - S. 76-83.
8. Caplin S.N. Biomehanika perednej brjushnoj stenki, vybor optimal'nogo operacionnogo dostupa i tehniki zakrytija laparotomnoj rany: avtoref. dis. na soisk. uchenoj stepeni kand. med.nauk.: spec. 14.01.17 - "Hirurgija" /S.N. Caplin / - M., 2011. - 24s.
9. Korobeynikov S.N. Objective tensor rates and applications in formulation of hyperelastic relations // *Journal of Elasticity*. 2008. V. 93, No 2. P. 105-140.

Реферат

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРЕДНЕЙ БРЮШНОЙ СТЕНКИ ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Лысенко Р.Б.

Ключевые слова: передняя брюшная стенка, функциональные нагрузки, деформация, модуль упругости, анизотропные механические свойства

В работе приведены результаты исследования деформационных изменений передней брюшной стенки (ПБС) при функциональных нагрузках. Исследование проведено у 29 здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 45 лет - проведен анализ движения и деформационные изменения ПБС во время максимального надувания живота (основная группа) и у 27 пациентов в возрасте от 20 до 47 лет, которым выполнялись лапароскопические оперативные вмешательства (контрольная группа) с инсуффляцией в брюшную полость углекислого газа до давления 12 мм.рт.ст.. Исследования показали следующие изменения механических свойств тканей ПБС: средние показатели деформации в продольном направлении составили 6% от основной группы и 12% - контрольной; деформации в поперечном направлении составляли 3% основной группы и 8% - контрольной; деформация в продольном направлении превышала деформацию в поперечном на 38-54% (в среднем на 46%); площадь ПБС основной группы увеличивалась на 10%, а в контрольной - на 22% (в среднем на 16%); модуль упругости тканей ПБС в продольном направлении меньше, чем в поперечном в среднем на 44% ($p < 0,05$).

Summary

STUDY OF DEFORMATION CHANGES IN ANTERIOR ABDOMINAL WALL UNDER FUNCTIONAL LOADING

Lysenko R. B.

Key words: anterior abdominal wall, functional load, deformation, strain module, anisotropic mechanical properties

This paper presents the research aimed at studying the deformation changes in the anterior abdominal wall (AAW) under functional load. The study involved 29 healthy volunteers aged 18 to 45 years subjected to the analysis of the movement and deformation changes in AAW during maximum inflating the abdomen (test group), and 27 patients aged 20 to 47 years, who had had laparoscopic surgery (control group) with insufflating of the carbon dioxide to a pressure of 12 mm Hg into the abdominal cavity. Studies have shown the following changes in the mechanical properties of tissues AAW: the average of longitudinal deformation of 6% in the test group and 12% in the control group; deformation in the transverse direction was in 3% of the main group, and in 8% of the control group; deformation in the longitudinal direction exceeded deformation transversely by 38-54% (in average by 46%); the area of AAW in the test group increased by 10%, and in the control group by 22% (average 16%); strain modulus tissues of AAW in the longitudinal direction is less than the average transverse to 44% ($p < 0.05$).