

УДК 539.3/616.717.5

О. В. Погребной

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНОГО МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ПО ДАННЫМ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Изучены последствия воздействия травмирующего фактора на биомеханическую конструкцию, в качестве которой рассматривался лучезапястный сустав, в условиях проведения пассивного эксперимента. На основании анализа данных эксперимента определялось вероятное место повреждения (перелома) лучевой кости, являющейся одним из элементов сустава. Предложен способ компьютерного анализа изображений рентгенограмм, рассматриваемых как выходные данные пассивного эксперимента. По результатам изучения рентгенограмм уточнено место типичного перелома дистального метаэпифиза лучевой кости. Отмечена тенденция к изменению локализации типичного места перелома лучевой кости в зависимости от возраста и интенсивности травмирующего фактора.

Ключевые слова: биомеханическая конструкция, лучевая кость, рентгенограмма, типичный перелом, достоверная достоверность, достоверный интервал.

Введение. Лучезапястный сустав (*articulatio radiocarpea*), или кистевой сустав, являющийся сложной биомеханической конструкцией, представляет собой соединение костей предплечья с кистью. По форме суставных поверхностей лучезапястный сустав является эллипсоидальным с двумя осями движения - фронтальной и сагиттальной. Вокруг фронтальной оси выполняется сгибание и разгибание, а вокруг сагиттальной оси – приведение и отведение. В лучезапястном суставе выполняется также круговое движение. Сустав образован запястной суставной поверхностью лучевой кости, суставным диском (с медиальной стороны) и проксимальными поверхностями первого (проксимального) ряда костей запястья: ладьевидной, полулунной и трёхгранной [1]. В процессе эксплуатации этой конструкции, иначе говоря, во время жизнедеятельности человека, в ней, к сожалению, возникают достаточно многочисленные, порой приводящие к тяжелым последствиям, нарушения. Одним из них является повреждение механической цельности (переломы) лучевой кости (ЛК), входящей в эту биомеханическую конструкцию. Заметим, что переломы ЛК в типичном месте – один из наиболее частых переломов опорно-двигательной системы. По данным научных публикаций они встречаются в 10-33% от числа всех переломов и в 70-90% среди переломов костей предплечья [3, 7, 16].

Переломы ЛК в типичном месте можно классифицировать по двум основным группам: переломы без смещения костных фрагментов и

переломы со смещением, которые, в свою очередь, подразделяются на разгибательные переломы (Коллеса), сгибательные переломы (Смита), краевые переломы (Гетчинсона и Бартон) и переломы ЛК в типичном месте в сочетании с повреждением локтевой кости и лучелоктевого сочленения [2].

Переломы ЛК в типичном месте без смещения костных фрагментов встречаются в 26-48% случаев [6, 10]. Остальные переломы сопровождаются смещением костных фрагментов. Из них 49-72% – переломы Коллеса. Это объясняется тем, что подавляющее большинство (до 87%) переломов ЛК в типичном месте возникают при падении человека на вытянутую руку (непрямой механизм), когда кисть находится в положении разгибания [3, 7, 16]. Степень повреждения и характер линии перелома зависят от силы падения и наличия остеопороза.

В представленной работе изучаются переломы ЛК без смещения в типичном месте – в дистальном метаэпифизе (в непосредственной близости от запястья) - вследствие высоко- и низкоэнергетического воздействия. Низкоэнергетическая травма возникает при падении на отведенную руку с высоты ниже собственного роста. Травма, возникающая при падении с высоты, превышающей рост человека, классифицируется как высокоэнергетическая. При этом среди пациентов наблюдаются значительные гендерные и возрастные различия. Опубликованы различные сведения о локализации типичного или классического места перелома, варьирующие от 10 мм до 40 мм [9].

Способы лечения переломов ЛК в типичном месте разрабатывались хирургами и ортопедами уже не одно столетие. Стандартный способ лечения должен приводить к восстановлению трудоспособности простым и кратчайшим путем, он должен быть практичным и пригодным для широкого применения [2].

Частота осложнений после консервативного лечения переломов ЛК в типичном месте достигает 30%. Причина такого высокого процента лечебных неудач заключается в анатомо-функциональных и биомеханических особенностях предплечья, затрудняющих репозицию, стабилизацию и правильное сращение отломков [4].

При изучении отдаленных результатов ряд авторов отмечает высокий процент карпальной нестабильности – 26% [5, 6] и нестабильности дистального лучелоктевого сустава – 43% [6].

Таким образом, переломы ЛК в типичном месте являются наиболее частой патологией (10-33%) среди всех переломов. Частота осложнений после консервативного лечения этих переломов достигает 30% [2].

Цель работы – определение наиболее вероятного места повреждения одного из элементов биомеханической системы, а именно лучевой кости, входящей в состав лучезапястного сустава, по данным пассивного эксперимента, в зависимости от воздействия высоко- и низкоэнергетической травмы, гендерного фактора и наличия развитых остеопоротических явлений в материале ЛК.

Исходными данными являлись рентгенограммы повреждённых ЛК. Изучение таких рентгенограмм можно рассматривать как анализ вы-

ходных данных пассивного эксперимента, при котором изучаются явления без активного на них воздействия. Преимущества и недостатки пассивного эксперимента описаны в [14, 15].

Объект исследования – лучевая кость, входящая в состав лучезапястного сустава, в месте её дистального метаэпифиза.

Способ компьютерного анализа изображений рентгенограмм. С целью изучения морфо-рентгенометрических особенностей переломов ЛК разработан способ компьютерного анализа рентгенограмм [11]. Для выполнения компьютерного анализа рентгенограмм необходимо иметь цифровое изображение ЛК с размеченными элементами структуры и некоторым эталоном длины, позволяющим получать результаты измерений независимо от увеличения, используемого при фотосъемке. В качестве эталона длины использовалась масштабная линейка, которая прикреплялась на рентгенограмму ЛК с переломом дистального метаэпифиза. С помощью цифровой фотокамеры рентгенограмма фотографировалась, полученные изображения переносились на персональный компьютер (ПК). Элементы структуры ЛК, а именно, суставная поверхность дистальной её части и линия перелома, визуально распознавались квалифицированным врачом-травматологом. В графическом редакторе проводилась ось ЛК, а также линии, очерчивающие суставную поверхность и перелом. При этом использовались разные цвета (красный, синий и зеленый), что, в силу их различных кодировок, позволяло проводить анализ изображения при помощи программы, разработанной в среде Delphi. На масштабной линейке между соседними сантиметровыми делениями проводился отрезок длиной 10 мм.

На рис. 1 представлен фрагмент изображения рентгенограммы, подготовленный для компьютерного анализа. На части кости (дистальном метаэпифизе) прямой линией обозначена ось ЛК, проведены линии, очерчивающие суставную поверхность и перелом. На масштабной линейке проведен отрезок между двумя соседними сантиметровыми делениями.

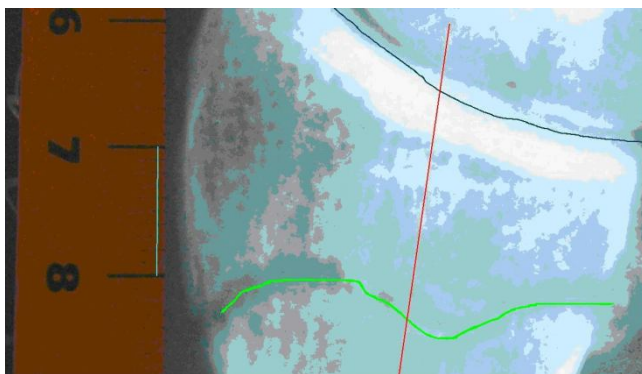


Рис. 1 – Фрагмент рентгенограммы

Под компьютерным анализом изображения рентгенограммы понимается выполнение следующих операций: нахождение координат точек пересечения оси ЛК и линий, обозначающих суставную поверхность и перелом; определение координат концов отрезка на масштабной линейке; вычисление расстояния на оси ЛК от суставной поверхности до перелома в пикселях; вычисление длины отрезка на масштабной линейке в пикселях; нахождение коэффициента перевода пикселей в миллиметры; вычисление расстояния от суставной поверхности до перелома в миллиметрах, а также дальнейшая статистическая обработка результатов.

Исходные данные. Изучены 244 рентгенограммы (мужчины – 47, женщины – 197). Состав пострадавших, с распределением по полу и возрасту приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Состав пострадавших с распределением по полу и возрасту

Возраст \ Пол	Женщины	Мужчины	Всего
Категория до 50	150	30	180
Категория старше 51	47	17	64
Всего	197	47	244

Пострадавшие женского пола были разделены на две категории – до 50 лет включительно и 51 год и старше. Данное разделение обусловлено воздействием травмирующего фактора: в первую группу были отнесены травмы с высокоэнергетической травмой (падение с высоты выше собственного роста), во вторую – низкоэнергетическая травма (падение с высоты собственного роста и ниже).

Определение объема экспериментальной выборки. Типичное место перелома дистального метаэпифиза ЛК находится путем усреднения значительного количества результатов анализа рентгенограмм. Необходимое количество рентгенограмм (объем экспериментальной выборки) определяется исходя из требований к искомому результату:

1) доверительная вероятность задается в размере 95%;

2) доверительный интервал определяется исходя из практических возможностей при сборе исходного материала для изучаемой выборки.

Обоснованием для выбора величины доверительной вероятности $P=0,95$ является её наиболее частое применение в медико-биологических исследованиях [8]. Величина доверительного интервала определяется исходя из промежуточных статистических расчетов, получаемых после обработки на ПК очередной партии изображений и учета практических возможностей при сборе исходного материала – рентгенограмм. Доверительная вероятность характеризует надежность результата, доверительный интервал – его точность.

Накопление материала для статистической обработки и промежуточные вычисления осуществлялись порциями по 5–10 размеченных рентгенограмм. Вычислялись среднее арифметическое расстояние \bar{L} от суставной поверхности до перелома, измеряемое по оси ЛК, его

среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации [12]. В процессе накопления результатов анализа изображений рентгенограмм установлено, что практически достижимой величиной доверительного интервала является 1 мм.

Изложенный подход к точности результата (доверительная вероятность $P = 0,95$) и надежности (доверительный интервал 1 мм) определил объем экспериментальной выборки: 168 рентгенограмм женщин всех возрастов.

Для определения объема экспериментальной выборки в предположении о нормальном распределении генеральной совокупности использовалось следующее соотношение [12]:

$$n = \left(\frac{u_{\alpha} S}{d} \right)^2, \quad (1)$$

где n – объем выборки (количество рентгенограмм); u_{α} – процентные точки нормированного нормального распределения; S – стандартная ошибка среднего арифметического; d – половина ширины доверительного интервала.

Следовательно, при объеме выборки для женщин $n = 168$ выборочное среднее арифметическое отличается от генерального среднего не более чем на 0,5 мм с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

Точность компьютерного метода обработки рентгенограмм рассмотрена на примере выборки 47 рентгенограмм мужчин [13]. Конечным результатом изучения выборки изображений рентгенограмм является среднее расстояние \bar{L} от суставной поверхности дистальной части ЛК до перелома дистального метаэпифиза, измеряемое по оси ЛК.

Рентгенограмма, перенесенная на ПК, представляет собой изображение, состоящее из пикселей. Расстояния между точками пересечений оси ЛК и линиями суставной поверхности и перелома L , так же, как и между концами отрезка на масштабной линейке l , вычисляются исходя из целого числа пикселей.

Причины появления погрешностей измерений, производимых на изображениях рентгенограмм следующие:

- 1) сложность проведения линий, очерчивающих суставную поверхность и перелом;
- 2) некоторая неточность при проведении отрезка на масштабной линейке;
- 3) наличие угла наклона измеряемого отрезка от вертикального или горизонтального направлений.

Трехмерный график зависимости абсолютной погрешности $\Delta(L)$ от количества n_x и n_y пикселей в проекциях измеряемого расстояния на оси x и y соответственно, представлен на рис. 2. Точки, расположенные в нижней части поверхности, показывают абсолютные погрешности $\Delta(L)$, возникающие в результате измерений расстояния L .

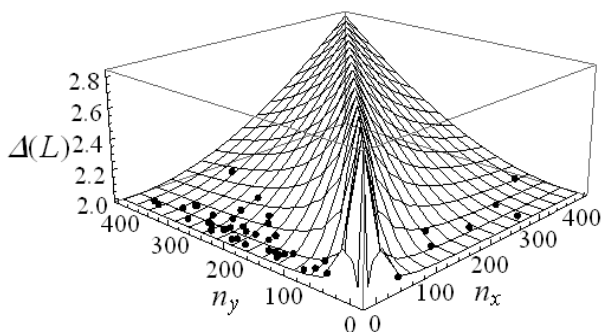


Рис. 2 – Зависимость абсолютной погрешности $\Delta(L)$ от проекций n_x и n_y

На практике добиться идеального вертикального или горизонтального расположения масштабной линейки не удастся и некоторый угол отклонения отрезка l от координатных осей на изображении рентгенограмм все же существует. На рис. 3 представлены результаты вычислений абсолютной погрешности $\Delta(l)$, возникающей при измерении длины отрезка l на масштабной линейке.

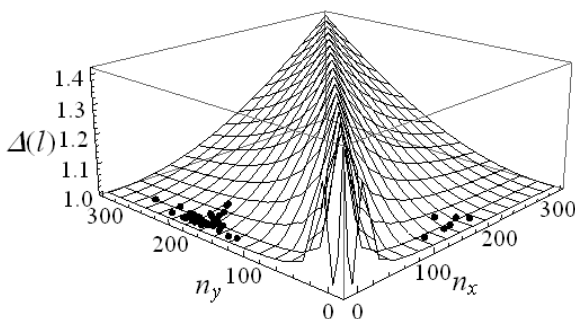


Рис. 3 – Зависимость абсолютной погрешности $\Delta(l)$ от проекций n_x и n_y

Зависимость относительной погрешности $\delta(L)$ с учетом относительной погрешности $\delta(l)$, то есть суммы $\delta(L)$ и $\delta(l)$, от длины L в миллиметрах представлена на рис. 4. Средняя абсолютная погрешность $\Delta(L)$ окончательного результата \bar{L} составила (с округлением) 0,12 мм.

Подбором увеличения при фотографировании рентгенограмм можно добиться большего количества пикселей в измеряемых расстояниях l и L , что приводит к уменьшению абсолютных погрешностей $\Delta(l)$ и $\Delta(L)$.

На рис. 5 представлен график изменения среднего значения величины \bar{L} в зависимости от количества обработанных изображений рентгенограмм. Пунктирная линия представляет среднее значение 12,8 мм, полученное в результате обработки всей выборки для мужчин.

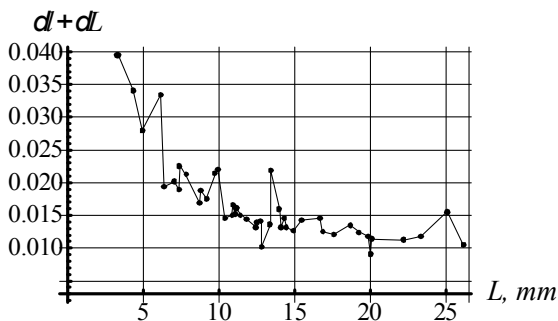


Рис. 4 – Зависимость относительной погрешности $\delta(L)$ от длины L в миллиметрах

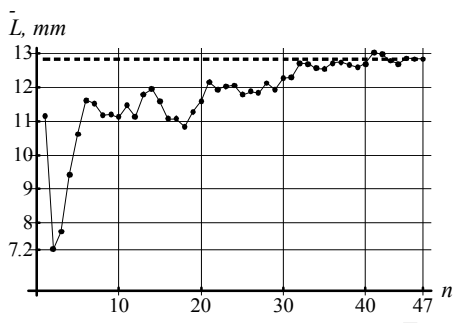


Рис. 5 – Изменение среднего значения величины \bar{L} в зависимости от количества обработанных изображений рентгенограмм n

На рис. 6 представлена зависимость изменения половины доверительного интервала d от количества обработанных изображений рентгенограмм n , связанных между собой соотношением (1). Пунктирной линией обозначена величина половины доверительного интервала $d = 1,64$ мм.

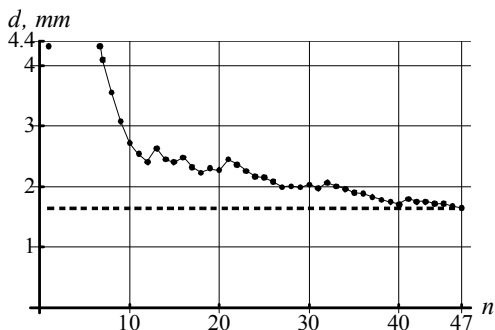


Рис. 6 – Зависимость изменения половины доверительного интервала d от количества обработанных изображений рентгенограмм n

Таким образом, искомое среднее расстояние \bar{L} от суставной поверхности до перелома, вычисленное по результатам анализа 47 рентгенограмм мужчин, составляет 12,8 мм. Точность использованного метода обеспечила абсолютную погрешность $\Delta(L) = 0,12$ мм, и, следовательно, результат можно записать в виде: $\bar{L} = 12,8 \pm 0,12$ мм.

Результат получен при доверительной вероятности $P = 0,95$ и доверительном интервале 3,28 мм. Уменьшение доверительного интервала может быть получено увеличением количества рентгенограмм.

Результаты и их обсуждение. Рентгенограммы мужчин и женщин обрабатывались отдельно. На рис. 7 представлена зависимость среднего значения величины \bar{L} от объема выборки n . Нижняя горизонтальная линия соответствует выборочному среднему значению 10,8 мм у женщин, верхняя – выборочному среднему значению 12,8 мм у мужчин. Точки, соединенные отрезками, отображают промежуточные значения среднего расстояния \bar{L} от объема выборки n .

По результатам обработки 47 рентгенограмм мужчин при доверительной вероятности $P = 0,95$ достигнут доверительный интервал 3,28 мм.

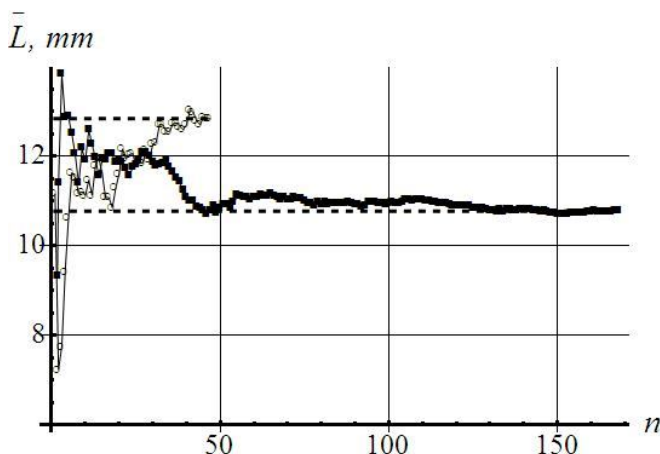


Рис. 7 - Зависимость среднего значения расстояния \bar{L} от перелома до суставной поверхности у мужчин и женщин всех возрастов

На рис. 8 представлена зависимость половины доверительного интервала d от количества обработанных рентгенограмм n для женщин и мужчин всех возрастов. Нижняя горизонтальная линия ($d = 0,5$ мм) и последовательность приближающихся к ней точек относятся к женщинам, верхняя горизонтальная линия ($d = 1,6$ мм) и последовательность точек соответствуют мужчинам.

Трехмерные гистограммы распределения частот переломов ЛК $Freq$ от возраста Age и расстояния перелома от суставной поверхности \bar{L} женщин и мужчин представлены в двух ракурсах на рис. 9 и рис. 10 соответственно.

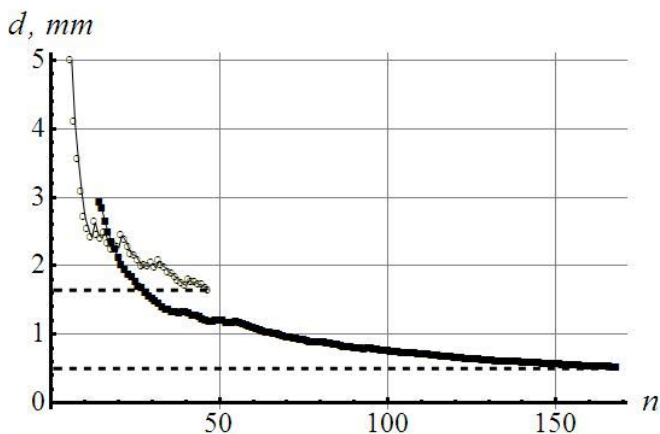


Рис. 8 - Зависимость половины доверительного интервала d от количества обработанных рентгенограмм n для женщин и мужчин

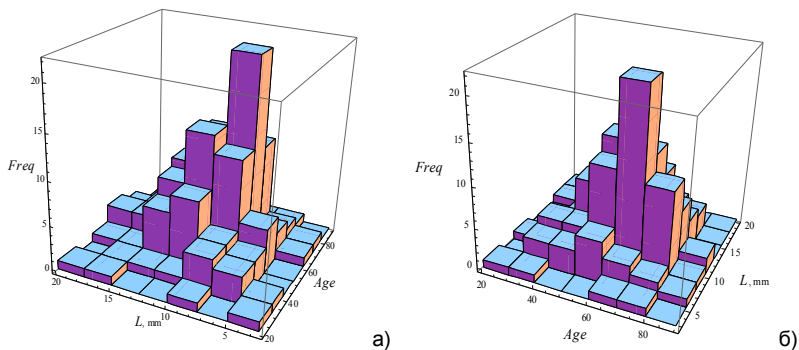


Рис. 9 - Трехмерная гистограмма распределения частоты переломов ЛК $Freq$ от возраста Age и расстояния от перелома до суставной поверхности \bar{L} женщин

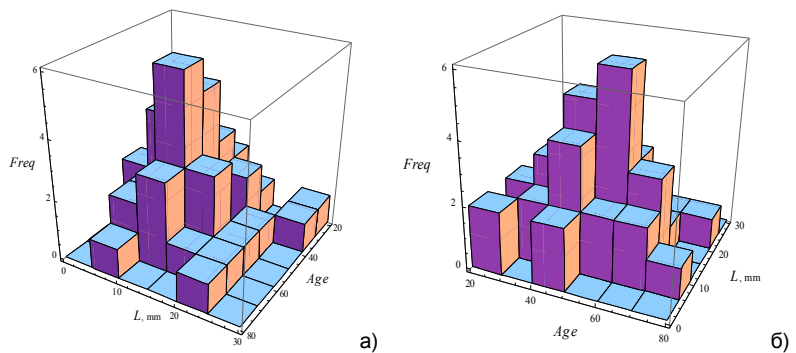


Рис. 10 - Трехмерная гистограмма распределения частоты переломов ЛК $Freq$ от возраста Age и расстояния от перелома до суставной поверхности \bar{L} мужчин

Возраст больных представлен в интервалах по 10 лет, расстояния перелома от суставной поверхности взяты с интервалом 4 мм. Вид на гистограммы с отрицательного направления оси \bar{L} представлен на рис. 9, а и рис. 10, а, а с положительного направления оси Age – на рис. 9, б и рис. 10, б.

На рис. 11 представлены гистограммы распределения частот переломов ЛК в зависимости от расстояния от перелома до суставной поверхности \bar{L} . Расстояние \bar{L} разбито на равные интервалы длиной 2 мм.

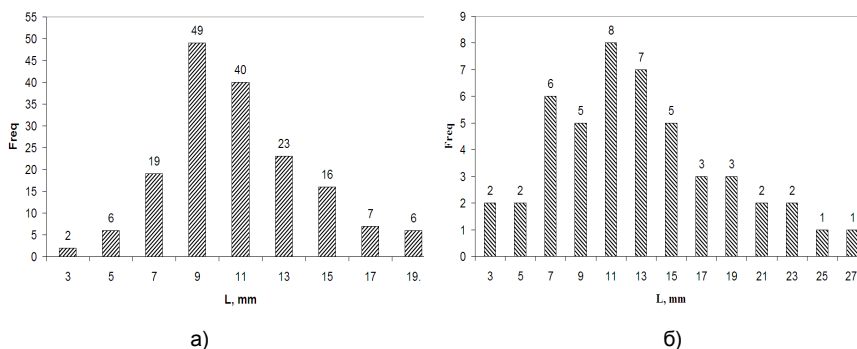


Рис. 11 - Гистограммы распределения частот переломов ЛК $Freq$ \bar{L} ; а) – женщины; б) – мужчины

Далее исследования продолжались в направлении определения зависимости положения перелома ЛК от возраста больных. Исходя из известных в медицинской практике данных о развитии остеопороза в зависимости от возраста организма, сделано предположение о разделении всего количества больных на две возрастные категории: от 21 года до 50 лет и от 51 года и старше. Соответственно, продолжилось накопление экспериментальных данных для получения средних значений искомого расстояния \bar{L} с приведенными выше требованиями к точности и надежности.

Когда общее количество обработанных рентгенограмм женщин составило 197 единиц, в категории 51 год и старше количество рентгенограмм составило 150 единиц. При достижении этого количества исходных экспериментальных данных получено искомое среднее расстояние 10,9 мм при половине доверительного интервала $d = 0,5$ мм. В категории женщин от 21 года до 50 лет искомое среднее расстояние составило 10,8 мм при половине доверительного интервала $d = 1,2$ мм. Количество рентгенограмм в этой категории составило 47 единиц [11].

На рис. 12 представлена зависимость половины доверительного интервала d от числа обработанных рентгенограмм n для женщин двух возрастных категорий. Женщинам категории от 21 года до 50 лет соот-

ветствует верхняя последовательность точек и верхняя горизонтальная линия ($d = 1,2 \text{ мм}$), женщинам категории 51 года и старше – нижняя последовательность квадратов и нижняя горизонтальная линия ($d = 0,5 \text{ мм}$).

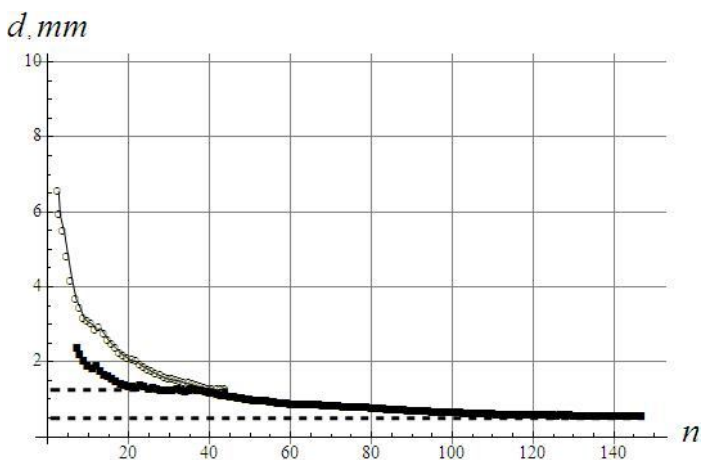


Рис. 12 - Зависимость половины доверительного интервала d от количества обработанных рентгенограмм n

На рис. 13 представлена зависимость среднего значения расстояния перелома ЛК от суставной поверхности \bar{L} от количества обработанных рентгенограмм n у женщин двух возрастных категорий.

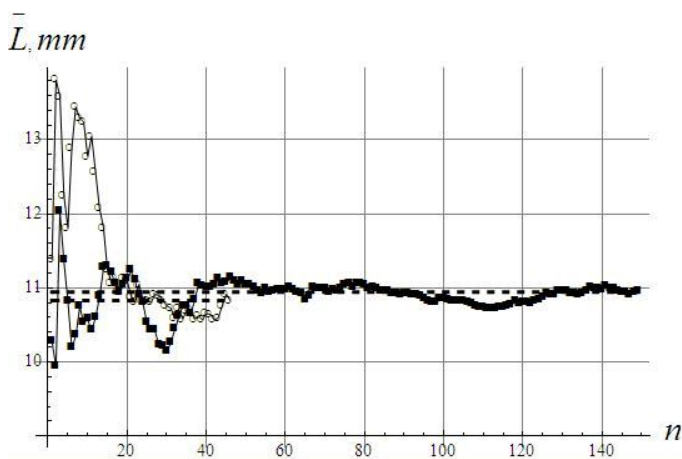


Рис. 13 - Зависимость среднего расстояния перелома ЛК от суставной поверхности \bar{L} у женщин двух возрастных категорий

Последовательность точек и нижняя горизонтальная пунктирная линия (10,8 мм) на рис. 13 соответствуют женщинам от 21 года до 50 лет, последовательность квадратиков и верхняя горизонтальная пунктирная линия (10,9 мм) – женщинам 51 года и старше. Можно отметить наличие некоторой тенденции к смещению в проксимальную сторону места типичного перелома для женщин старшей возрастной группы.

Перспективы дальнейших исследований. В процессе проведения исследований с применением метода компьютерного анализа рентгенограмм установлено, что подготовка исходного экспериментального материала не требует значительных трудозатрат, расход компьютерного времени на обработку исходных данных и проведение статистических расчетов незначителен, обеспечивается получение результатов с приемлемой для практических целей точностью. Перечисленные преимущества делают использованный метод перспективным для исследования остеопоротических переломов других сегментов опорно-двигательного аппарата.

Выводы. В условиях проведения пассивного эксперимента над биомеханической конструкцией, в качестве которой рассматривался лучезапястный сустав, выявлено наиболее вероятное место повреждения одного из её элементов – лучевой кости.

Для анализа исходных данных (рентгенограмм) предложен компьютерный метод их обработки. Показано, что при этом обеспечивается достаточная для практических целей точность результатов.

Установлена зависимость локализации повреждения от возраста и интенсивности травмирующего фактора.

При заданной доверительной вероятности $P = 0,95$ и заданном доверительном интервале 1 мм наиболее вероятным местом локализации перелома у женщин старшей возрастной группы является расстояние 10,9 мм от суставной поверхности лучевой кости.

Автор признателен д. м. н. Науменко Л. Ю. (Днепропетровская Государственная Медицинская Академия) и к. м. н. Виннику А. А. (Городская клиническая больница № 2) за предоставленные данные и конструктивное обсуждение статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Анатомия человека. Т. 1 / Под ред. М. П. Сапина. – М.: Медицина, 1987. – 288 с.
2. **Ангарская Е. Г.** Переломы лучевой кости в типичном месте / Е. Г. Ангарская // Сибирский медицинский журнал. – 2007. – Т. 70. – № 3. – С. 106-109.
3. **Ашкенази А. И.** Хирургия кистевого сустава / А. И. Ашкенази. – М.: Медицина, 1990. – 352 с.
4. **Голубев И. О.** Повреждения и заболевания дистального лучелоктевого сустава. Часть I. Анатомия, кинематика и обследование / И. О. Голубев // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. - 1998. – № 3. – С. 63-67.
5. **Голубев И. О.** Повреждения и заболевания дистального лучелоктевого сустава. Часть II. Лечение / И. О. Голубев // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. - 1998. – № 4. – С. 60-63.

6. **Голубев И. О.** Два года после перелома Колеса (Пристальный взгляд на результаты консервативного лечения) / И. О. Голубев, О. Г. Шершнева, Д. Н. Климин // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. - 1999. - № 3. - С. 26-31.
7. **Каплан А. В.** Закрытые повреждения костей и суставов. / А. В. Каплан. - М.: Медицина, 1979. - 568 с.
8. **Лакин Г. Ф.** Биометрия. / Г. Ф. Лакин. - М.: Высшая школа, 1990. - 352 с.
9. **Лобенко А. А.** Рентгенодиагностика механических повреждений костей и суставов конечностей. / А. А. Лобенко, Н. А. Васильев. - К.: Здоров'я, 1994. - 224 с.
10. **Навроцкий Д. С.** Зависимость исходов лечения переломов лучевой кости в типичном месте от способа иммобилизации / Д. С. Навроцкий // Ортопедия, травматология и протезирование. - 1970. - № 1. - С. 53-55.
11. **Науменко Л. Ю.** Рентгенморфометрические характеристики дистального эпиметафиза лучевой кости при переломах в классическом месте / Л. Ю. Науменко, О. В. Погребной, А. А. Винник // Український морфологічний альманах. - 2010. - Т. 8. - № 3. - С. 93 - 97.
12. Основы математической статистики / Под ред. В. С. Иванова. - М.: ФиС, 1990. - 176 с.
13. **Погребной О. В.** Оценка погрешности измерений при использовании компьютерного метода анализа рентгенограмм / О. В. Погребной // Пробл. обчислюв. механіки і міцності конструкцій. зб. наук. праць. - Д.: Ліра. - 2011. - Вип. 15. - С. 134-145.
14. **Серафинович Л. П.** Планирование эксперимента: Учебное пособие. / Л. П. Серафинович. - Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. - 128 с.
15. **Славутский Л. А.** Основы регистрации данных и планирования эксперимента. Учебное пособие. / Л. А. Славутский. - Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2006. - 200 с.
16. Травматология и ортопедия: Руководство для врачей. В 4 т. Т. 2. / Под ред. Н. В. Корнилова. - М.: Медицина, 2005. - 896 с.

УДК 539.3/616.717.5

О. В. Погрібний

ВИЗНАЧЕННЯ ВІРОГІДНОГО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ БІОМЕХАНІЧНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗА ДАНИМИ ПАСИВНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Вивчено наслідки дії травмуючого фактору на біомеханічну конструкцію, під якою розглядався лучезап'ястний суглоб, в умовах проведення пасивного експерименту. На підставі аналізу даних експерименту визначалося вірогідне місце пошкодження (перелому) променевої кістки, що є одним з елементів суглоба. Запропоновано спосіб комп'ютерного аналізу зображень рентгенограм, що розглядаються як вихідні дані пасивного експерименту. За наслідками вивчення рентгенограм уточнено типове місце перелому дистального метаепіфізу променевої кістки. Відмічена тенденція до зміни локалізації типового місця перелому променевої кістки залежно від віку і інтенсивності травмуючого фактору.

Ключові слова: біомеханічна конструкція, променева кістка, рентгенограма, типовий перелом, довірна достовірність, довірчий інтервал.

O. V. Pogrebnoy

CALCULATION OF THE MOST PROBABLE DAMAGE PLACE OF BIOMECHANICAL STRUCTURE ON THE BASIS OF PASSIVE EXPERIMENT DATA

The radiocarpal joint as a biomechanical structure is studied under the traumatic action in terms of passive experiment. The radius is one of the elements of this joint. The most probable place of radius fracture is calculated on the basis of experimental data. The high and low energetic action is the cause of fracture. The approach for computer analysis of roentgenogram images as the experimental data-out is proposed. The approach accuracy is examined. The most probable localization of the typical fracture is determined by the statistical methods. The typical fracture localization of the distal radius metaepiphysis is made more precise. The dependency of the radius fracture typical localization on the age of patient and traumatic factor value is found out.

Keywords: *biomechanical structure, radius, roentgenogram, typical fracture, confidence probability, confidence interval.*

Introduction. The radiocarpal joint (articulatio radiocarpea), that unites the bones of forearm and wrist, is investigated as a biomechanical structure. One of the component of this joint, namely radius, has often fractures at a typical place. This kind of fractures is one of the most frequent damages of the human skeleton [3, 7, 16]. The radius fractures occur without displacement of bone fragments and it exist different types of fractures with fragment displacements. The radius fractures at a typical place without fragment displacement take place in 26-48% of cases [6, 10]. The damages and kind of fracture line depend on a force of fall and osteoporosis presence. In the present paper the radius fractures without fragment displacement that occur at a typical place, namely in the radius distal metaepiphysis, are studied. Damages of that kind were the consequences of influence of high and low intensive traumas. The considerable gender and age differences are characteristic for patients. Different information about localization of the typical place from 10 mm to 40 mm presented in [9].

Aim of investigation is to precise the localization of radius fracture at a typical place using data-out of passive experiment in dependency of trauma intensity, gender and osteoporosis presence.

The roentgenograms of radius fractures without fragment displacement were data-out of the passive experiment under the radiocarpal joint regarding as a biomechanical structure. The peculiar properties of passive experiment described in [14, 15].

Results and discussion. The approach for computer analysis of roentgenogram images as the experimental data-out is proposed. The approach accuracy is examined. The total quantity of patients is divided into groups according to gender and age and presented in Table 1.

The quantity of roentgenograms is defined according to accuracy of result:

- 1) confidence probability is chosen 95%;
- 2) confidence interval is determined by practical possibility of data-out collection.

Table 1 – Staff of patients

Age	Gender	Women	Men	Total
Group under 50 years		150	30	180
Group after 51 years		47	17	64
Total		197	47	244

During the data-out collection is found out that value of 1 mm of the confidential interval for women can be realized.

When the total quantity of measured women roentgenograms mounted 197, in the older group quantity was 150. At this value of experimental data-out the mean distance $\bar{L} = 10,9 \text{ mm}$ with a half of confidential interval $d = 0,5 \text{ mm}$ was achieved. In the group under 50 years the mean distance $\bar{L} = 10,9 \text{ mm}$ with a half of confidential interval $d = 0,5 \text{ mm}$ was calculated. For this group the quantity of roentgenograms was 47 [11].

The mean value \bar{L} from joint surface to radius fracture in dependency of measured roentgenograms quantity n for two groups of women is presented on Fig. 1.

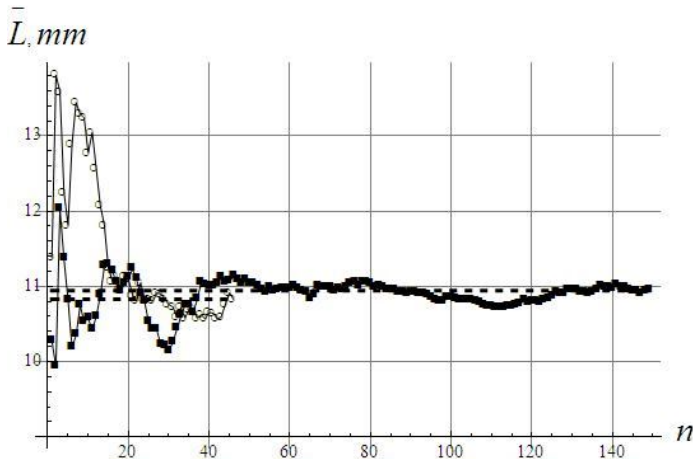


Fig. 1 – Dependency of mean distance of radius fracture from joint surface \bar{L} for women of two age groups

On the Fig. 1 the sequence of blank circles and lower dotted line (10,8 mm) correspond to women of age from 21 to 50 years, the sequence of black squares and upper dotted line (10,9 mm) correspond to women older then 51 years. It reveals some tendency to displacement of the typical place of radius fracture to the proximal direction for women of the aged group.

Perspectives of future investigations. During the investigations with using of the proposed computer approach for analysis of roentgenograms

were established certain advantages, such as insignificant time for the preparation of initial experimental data, charges of time for treatment of initial data and statistical calculation are admissible, sufficient accuracy of results for the practice is realized. The set of mentioned advantages makes the proposed approach as perspective mean for investigation of osteoporous fractures of different parts of the skeleton.

Conclusions. The biomechanical structure under conditions of passive experiment in vivo is studied. The radiocarpal joint is regarded as this biomechanical structure. The most probable place of fracture of the radius as one of the elements of such structure is found out.

The approach with using computer is proposed for analysis of experimental data-out. The sufficient accuracy of results for the practice is achieved.

The dependency of the damage localization on the age of patients and traumatic factor value is established.

The fracture localization for the aged women group with the confidence probability $P=0,95$ and the confidence interval 1 mm is précised. The value is $10,9\text{ mm}$ from the radius joint surface.

REFERENCES

1. **Angarskaya E. G.** Radius fractures in a typical place / E. G. Angarskaya // Sibirsky meditsinsky zhurnal. – 2007. – Vol. 70. – № 3. – P. 106-109. (in Russian).
2. **Ashkenazy A. I.** Surgery of wrist joint / A. I. Ashkenazy. – Moscow: Meditsina, 1990. – 352 p. (in Russian).
3. **Golybev I. O.** Damages and deceases of distal radius-ulnar (ulnocarpal-?) joint. Part I. Anatomy, kinematics and examination / I. O. Golubev // Bulletin of traumatology and orthopedics named after N. N. Priorov. - 1998. – № 3. – P. 63-67. (in Russian).
4. **Golybev I. O.** Damages and deceases of distal radius-ulnar joint. Part II. Treatment / I. O. Golubev // Bulletin of traumatology and orthopedics named after N. N. Priorov. - 1998. – № 4. – P. 60-63. (in Russian).
5. **Golybev I. O.** Two years after Colles's fracture (Intent look at the results of conservative treatment) / I. O. Golubev, O. G. Shershneva, D. N. Klimin // Bulletin of traumatology and orthopedics named after N. N. Priorov. - 1999. – № 3. – P. 26-31. (in Russian).
6. **Kaplan A. V.** Closed damages of bones and joints. / A. V. Kaplan. – Moscow: Meditsina, 1979. – 568 p. (in Russian).
7. **Lakin G. F.** Biometry / G. F. Lakin. –Moscow : Vishaja shkola, 1990. – 352 p. (in Russian).
8. **Lobenko A. A.** X-ray diagnostics of mechanical damages of bones and articulations of extremities / A. A. Lobenko, N. A. Vasiliev. – Kiev : Zdorovia, 1994. – 224 p. (in Russian).
9. **Navrotsky D. S.** Dependency of treatment issues of radius fractures in a typical place on immobilization method / D. S. Navrotsky // Orthopedics, traumatology и prosthesis. – 1970. - № 1. – P. 53-55. (in Russian).
10. **Naumenko L. Yu.** A study of X-ray and morphometrical characteristics of distal radius epimetaphysis by use of computer method. / L. Yu. Naumenko, O. V. Pogrebnoy,

A. A. Vinnik // Ukrainian morphological anthology. – 2010. – Vol. 8, № 3. – P. 93 – 97. (in Russian).

11. Fundamentals of mathematical statistics / Editor V. S. Ivanov. – Moscow: FiS, 1990. – 176 p. (in Russian).

12. **Pogrebnoy O. V.** Estimation of measurement errors by use of computer method for roentgenogram analysis. / O. V. Pogrebnoy // Problems of computational mechanics and strength of structures: Col. of sci. works. – Dnepropetrovsk: Lira. – 2011. – Vol. 15. – P. 134–145. (in Russian).

13. Human anatomy. Vol. 1. / Editor M. R. Sapin. – Moscow: Meditzina, 1987. – 288 p. (in Russian).

14. **Serafinovich L. P.** Experiment planning: Guide. / L. P. Serafinovich. – Tomsk: Tomsky mezshvuzovskiy zentr distantsionnogo obrazovaniya, 2006. – 128 p. (in Russian).

15. **Slavutsky L. A.** Fundamentals of data registration and experiment planning. Guide / L. A. Slavutsky. – Cheboksary : Izdatelstvo ChGU, 2006. - 200 p. (in Russian).

16. Traumatology and orthopedics: Guide for physicians. In 4 vol. / Editor N. V. Kornilov. – Moscow: Meditzina, 2005. – Vol. 2. – 896 p. (in Russian).

*Дніпропетровський національний
університет ім. Олеся Гончара,
Дніпро, Україна*

Надійшла до редколегії 20.05.2017