

УДК 616.728.2–089.28

## Об определении минеральной плотности костной ткани в перипротезной зоне

А.С. Аврунин, Р.М. Тихилов, И.И. Шубняков, М.П. Ганева,  
Д.Г. Плиев, В.В. Попов, И.Д. Товпич

ФГУ «Российский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена Росздрава», Санкт-Петербург, Россия

**Ключевые слова:** проекционная минеральная плотность, костная ткань, эндопротезирование тазобедренного сустава, ошибка метода ДЭРА

Технологию двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДЭРА) по ее воспроизводимости, точности, дозе рентгеновского облучения, доступности зон интереса для исследования, скорости и легкости оценки результатов рассматривают в настоящее время как один из оптимальных методов выбора при оценке ремоделирования костной ткани в перипротезной зоне.

Тем не менее, как и любой другой метод, ДЭРА при оценке проекционной минеральной плотности костной ткани (ПМПКТ) имеет ограничения, связанные с ОВ, величина которой определяется:

- собственной ошибкой работы аппаратно-программного комплекса [11];
- нарушением укладки [9];
- краткосрочными (околонедельными) колебаниями ПМПКТ, отражающими обменные процессы костной ткани [2–4].

В настоящей работе на модели *in vitro* оценена роль первых двух составляющих. Объектом исследования является проксимальный отдел бедренной кости с имплантированным бедренным компонентом “Müller” бесцементной фиксации. Последний представляет собой клиновидную ножку медиально вогнутой формы в проксимальном отделе. Такая сложная конфигурация уже при незначительной ротации вызывает изменения площади и формы рентгеновской тени, существенно различающиеся по зонам Груена.

*Цель* — определить на модели *in vitro* ОВ метода ДЭРА в перипротезной зоне вокруг бедренного

компонента “Müller” без цемента и на основании полученных данных предложить алгоритм исследования, минимизирующий ее до клинически незначимых величин.

### Материал и методы

*Исследование in vitro.* Объектом исследования служили три правые бедренные кости человека после остеокларификации<sup>1</sup> с имплантированным в них бедренным компонентом эндопротеза Müller с бесцементной фиксацией. Перед исследованием они были закреплены в аппарате специально разработанной конструкции (рис. 1). Он представляет собой раму, на которой фиксировано кольцо аппарата Илизарова диаметром 140 мм с пластиковым

<sup>1</sup> Сложный многоэтапный процесс очищения кости от мягких тканей.

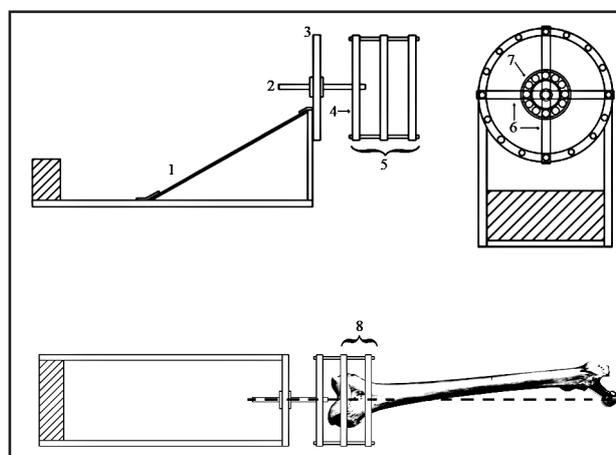


Рис. 1. Схема конструкции для фиксации бедренной кости

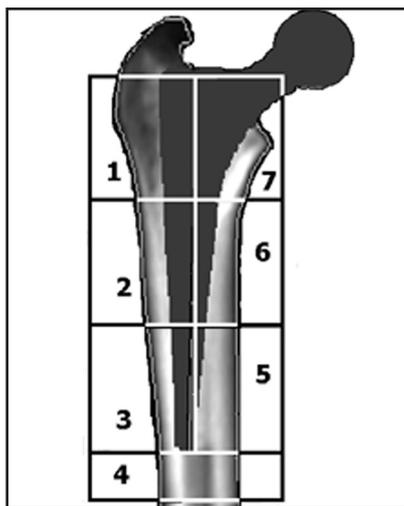


Рис. 2. Схема зон Груена

угломером для определения угла ротации бедренной кости и контроля ее положения. В центре кольца расположен подшипник, на котором закреплен осевой стержень для фиксации к нему комплекса с бедренной костью. Продольная ось стержня совпадает с осью вращения кости, проходящей через середину межмышечкового расстояния и центр головки эндопротеза. На базе аппарата имеется упор, предотвращающий изменение пространственного расположения кости в процессе работы.

*Алгоритм эксперимента.* Перед началом эксперимента денситометр калибровали согласно прилагаемой к прибору инструкции. При проведении исследования кость располагали таким образом, чтобы фронтальная плоскость, проходящая через мышечки, была параллельна плоскости стола цифрового денситометра “PRODIGY” (GE Medical Systems LUNAR). Мягкие ткани замещали кюветой, наполненной водой. Денситометрию бедренных костей в проксимальном отделе проводили с интервалом 2–5 мин. Зоны интереса (ЗИ) представлены на рис. 2.

Первоначально оценивали ПМПКТ в ЗИ десятикратно, в пространственно нейтральной позиции, то есть в условиях, когда ось шейки параллельна поверхности стола прибора ( $0^\circ$ ). Затем проводили последовательную ротацию кости с шагом  $5^\circ$  кнаружи или кнутри и после каждой пошаговой

ротации трижды оценивали ПМПКТ.

*Статистическое компьютерное математическое моделирование вероятности отклонения результатов исследования от их истинных значений.* Из результатов последовательных исследований ЗИ каждой кости формировали цифровые ряды. Затем из каждого ряда проводили 10000 выборок двух случайно взятых значений. После этого для каждой выборки определяли  $M_{ср}$  и сравнивали с генеральной  $M_{ср}$ , рассчитанной по всему ряду из 10 исследований данной ЗИ. Затем находили для каждой ЗИ долю выборок, в которых  $M_{ср}$  не выходит за пределы генеральной  $M_{ср} \pm 1\%^2$ . Аналогично моделировали выборку 3-х, 4-х и так далее до 10 результатов исследования.

Статистическую проверку гипотезы об однородности двух выборок проводили по трем критериям:  $t$  (равенство средних значений),  $F$  (равенство дисперсий),  $U$ -критерий Вилкоксона-Манна-Уитни ( $U$ -ВМУ) (различия средних тенденций для независимых выборок) [5].

### Результаты и их обсуждение

В настоящем исследовании оценивали влияние на ОВ метода следующих факторов:

- индивидуальных анатомо-рентгенологических особенностей кости;
- индивидуальных анатомо-рентгенологических особенностей зон Груена;
- ротации бедренной кости по продольной оси от  $50^\circ$  до  $-30^\circ$ <sup>3</sup>;
- ротации бедренной кости по продольной оси в пределах  $\pm 5^\circ$ <sup>4</sup>;
- собственной работы аппаратно-программного комплекса.

Влияние анатомо-рентгенологических особенностей костей определяли независимо от зон Груена. С этой целью результаты, полученные при исследовании каждой кости, объединяли в одну группу.

Установлено, что при ротации кости от  $50^\circ$  до  $-30^\circ$  величина ОВ значимо ( $P < 0,05$ ) зависит от положения исследуемой кости (табл. 1). Например, в кости 1 максимальная величина достигает 65,2%, а в кости 3 — 33,9%.

При ротации в пределах  $\pm 5^\circ$  различия между

<sup>2</sup> При определении допустимых границ ошибки мы исходим из того, что минимальная величина диагностически значимого сдвига ПМПКТ составляет 3%. Соответственно, если при первичном обследовании результат измерения будет на 1% выше истинного, а при повторном (через год) — на 1% ниже, то ОВ программно-аппаратного комплекса изменит ПМПКТ только на 2%. Таким образом, она не сможет полностью нивелировать истинное изменение ПМПКТ, если оно достигает 3%.

<sup>3</sup> Рассмотрен вариант максимальной ротации, ограниченный только возможностями костного денситометра.

<sup>4</sup> На практике, по нашему мнению, нарушение укладки чаще составляет  $\pm 5^\circ$  и только в отдельных случаях достигает  $\pm 10^\circ$ . Поэтому был проведен анализ данных в пределах клинически значимого варианта ротации  $\pm 5^\circ$ .

<sup>5</sup> Клинически более целесообразно рассматривать различия по максимальной разнице, так как при индивидуальном мониторинге пациента предпочтительнее исходить именно из максимально возможной ошибки метода.

Таблица 1. Влияние ротации на ПМПКТ в зонах Груена

| Угол ротации | Зона Груена |       |       |       |       |       |       |
|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 1           | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| Кость 1      |             |       |       |       |       |       |       |
| -30          | -0,4        | -2,7  | 3,8   | 4,7   | 5,0   | -12,0 | -23,6 |
| -25          | -1,4        | 0,3   | 4,5   | 5,0   | 4,0   | -12,1 | -23   |
| -20          | -1,2        | 2,8   | 3,3   | 3,8   | 3,3   | -11,5 | -20,4 |
| -15          | -0,1        | 5,3   | 3,8   | 2,8   | 2,3   | -9,8  | -17,3 |
| -10          | -1,1        | 6,0   | 3,7   | 1,6   | 0,3   | -7,3  | -13,6 |
| -5           | -1,2        | 2,4   | 0,4   | 0,3   | 0,7   | -3,5  | -5,5  |
| 5            | -0,4        | -5,2  | -2,0  | 0     | -0,2  | 3,7   | 6,1   |
| 10           | 2,0         | -7,4  | -1,7  | -0,5  | 1,6   | 8,0   | 15,8  |
| 15           | 2,3         | -10,4 | -3,7  | -0,8  | 0,6   | 11,6  | 23,4  |
| 20           | 4,2         | -10,7 | -4,2  | -0,1  | -0,4  | 14,3  | 33,4  |
| 25           | 3,6         | -14,0 | -4,1  | -1,1  | -1,3  | 14,9  | 53,6  |
| 30           | 5,4         | -13,6 | -4,4  | -1,1  | -1,8  | 15,8  | 65,2  |
| 35           | 7,4         | -14,3 | -3,6  | -1,3  | -4,7  | 12,9  | 64,3  |
| 40           | 9,0         | -12,6 | -3,2  | -1,9  | -6,8  | 9,6   | 53,4  |
| 45           | 9,8         | -13,0 | -2,7  | -2,4  | -8,5  | 5,7   | 48,3  |
| 50           | 11,9        | -11,2 | -1,7  | -1,5  | -11,2 | 0,7   | 27,2  |
| Кость 2      |             |       |       |       |       |       |       |
| -30          | 0,4         | 8,8   | -2,3  | 3,6   | 14,8  | 19,2  | -34,2 |
| -25          | 2,2         | 9,4   | -0,6  | 2,8   | 10,4  | 18,3  | -30,4 |
| -20          | 1,6         | 6,1   | -1,1  | 1,9   | 7,0   | 16,2  | -25,9 |
| -15          | 2,6         | 3,7   | -0,5  | 1,4   | 4,0   | 9,6   | -19,2 |
| -10          | 2,1         | 2,0   | -1,2  | -0,1  | 1,2   | 5,9   | -11,0 |
| -5           | 0,6         | 1,8   | 0,6   | 0,3   | 0,5   | 4,0   | -6,0  |
| 5            | 1,7         | -1,0  | -0,2  | 0,8   | 0     | -4,2  | 8,9   |
| 10           | -1,0        | -3,3  | 0     | 0,9   | -0,3  | -7,1  | 16,8  |
| 15           | -3,5        | -5,0  | -0,6  | 1,3   | 0,3   | -8,4  | 11,9  |
| 20           | -5,6        | -6,5  | -1,0  | 1,4   | 1,0   | -11,1 | 1,2   |
| 25           | -7,2        | -8,4  | -2,4  | 2,4   | 4,7   | -10,6 | -6,5  |
| 30           | -8,3        | -9,6  | -2,4  | 5,7   | 5,7   | -10,9 | -10,1 |
| 35           | -9,8        | -11,1 | -3,8  | 6,8   | 9,4   | -10,3 | -12,3 |
| 40           | -9,9        | -11,4 | -4,5  | 8,6   | 13,6  | -8,5  | -16,2 |
| 45           | -12,9       | -12,2 | -6,4  | 9,9   | 17,9  | -6,3  | -18,1 |
| 50           | -15,1       | -11,6 | -9,3  | 10,0  | 23,5  | -1,8  | -20,4 |
| Кость 3      |             |       |       |       |       |       |       |
| -30          | 2,5         | 14,7  | 9,2   | 9,0   | -1,0  | -9,1  | -25,3 |
| -25          | 4,0         | 12,4  | 8,9   | 7,6   | 0     | -5,1  | -24,7 |
| -20          | -2,8        | 7,6   | 7,1   | 7,5   | -0,5  | -8,6  | -18,7 |
| -15          | -2,8        | 4,3   | 4,9   | 5,6   | 1,3   | -5,7  | -13,5 |
| -10          | -2,2        | 3,4   | 4,5   | 3,3   | 1,8   | -2,6  | -9,6  |
| -5           | -2,0        | 2,5   | 1,1   | 1,9   | 0,6   | 0,1   | -3,1  |
| 5            | 0,4         | -2,1  | -3,9  | -3,1  | -2,5  | -1,9  | 2,1   |
| 10           | 0,1         | -3,9  | -3,3  | -2,9  | -2,4  | -3,6  | 1,7   |
| 15           | 0,8         | -4,4  | -6,4  | -5,1  | -3,9  | -8,7  | -4,8  |
| 20           | 1,4         | -7,1  | -7,3  | -5,8  | -4,8  | -12,8 | -12,1 |
| 25           | 0,1         | -10,8 | -7,4  | -7,1  | -6,6  | -17,4 | -20,7 |
| 30           | -1,4        | -12,8 | -8,9  | -8,7  | -7,1  | -20,8 | -27,9 |
| 35           | -3,1        | -14,5 | -10,2 | -9,1  | -7,9  | -23,4 | -30,6 |
| 40           | -5,0        | -16,2 | -11,7 | -11,1 | -6,8  | -22   | -33,5 |
| 45           | -7,0        | -15,0 | -13,6 | -10,6 | -7,1  | -20,8 | -33,9 |
| 50           | -9,2        | -12,8 | -16,3 | -12,4 | -5,7  | -19,1 | -33,5 |

Примечание: за 100% приняты значения в каждой зоне в нейтральной позиции

костьми статистически значимы ( $P < 0,05$ ) только по F-критерию, тем не менее, с клинической точки зрения существенна величина максимальных отклонений ПМПКТ<sup>5</sup>, которые варьируют в пределах 3,9–8,9% (табл. 2).

При отсутствии ротации аппаратно-программного комплекса различия между костями статисти-

чески незначимы ( $P > 0,05$ ) (табл. 2). Однако с клинической точки зрения ОБ необходимо учитывать, так как ее максимальные значения достигают 3,2%.

Влияние анатомо-рентгенологических особенностей зон Груена оценивали независимо от костей. С этой целью результаты, полученные

Таблица 2. Результаты статистического анализа отклонений ПМПКТ от истинных значений (%)

| Объект исследования            | Статистический показатель |      |                   |                                |                                |                                |
|--------------------------------|---------------------------|------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                | М <sub>ср</sub>           | σ    | М <sub>макс</sub> | Т-критерий                     | U-ВМУ                          | F-критерий                     |
| Кости                          |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Пределы ротации от -30° до 50° |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Кость 1                        | 8,7                       | 12,4 | 65,2              | P>0,05                         | P <sub>3</sub> *<0,05          | P <sub>2,3</sub> <0,05         |
| Кость 2                        | 7,2                       | 6,7  | 34,2              | P>0,05                         | P>0,05                         | P <sub>1</sub> <0,05           |
| Кость 3                        | 8,6                       | 7,8  | 33,9              | P>0,05                         | P <sub>1</sub> <0,05           | P <sub>1</sub> <0,05           |
| Пределы ротации ±5°            |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Кость 1                        | 2,3                       | 2,2  | 6,1               | P>0,05                         | P>0,05                         | P <sub>3</sub> <0,05           |
| Кость 2                        | 2,2                       | 2,6  | 8,9               | P>0,05                         | P>0,05                         | P <sub>3</sub> <0,05           |
| Кость 3                        | 2,0                       | 1,1  | 3,9               | P>0,05                         | P>0,05                         | P <sub>1,2</sub> <0,05         |
| Ротации нет                    |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Кость 1                        | 0,8                       | 0,6  | 3,0               | P>0,05                         | P>0,05                         | P>0,05                         |
| Кость 2                        | 0,8                       | 0,6  | 2,3               | P>0,05                         | P>0,05                         | P>0,05                         |
| Кость 3                        | 0,8                       | 0,6  | 3,2               | P>0,05                         | P>0,05                         | P>0,05                         |
| Зоны Груена                    |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Пределы ротации от -30° до 50° |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Зона 1                         | 4,0                       | 3,8  | 15,1              | P <sub>2,6,7</sub> **<0,05     | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>5,6,7</sub> <0,05       |
| Зона 2                         | 8,1                       | 4,6  | 16,2              | P <sub>1,3,4,5,6,7</sub> <0,05 | P <sub>1,3,4,5,7</sub> <0,05   | P <sub>4,6,7</sub> <0,05       |
| Зона 3                         | 4,4                       | 3,7  | 16,3              | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>5,6,7</sub> <0,05       |
| Зона 4                         | 4,1                       | 3,5  | 12,4              | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>2,5,6,7</sub> <0,05     |
| Зона 5                         | 4,7                       | 5,0  | 23,5              | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>1,3,4,7</sub> <0,05     |
| Зона 6                         | 10,2                      | 6,0  | 23,4              | P <sub>1,2,3,4,5,7</sub> <0,05 | P <sub>1,3,4,5,7</sub> <0,05   | P <sub>1,2,3,4,7</sub> <0,05   |
| Зона 7                         | 21,6                      | 15,5 | 65,2              | P <sub>1,2,3,4,5,6</sub> <0,05 | P <sub>1,2,3,4,5,6</sub> <0,05 | P <sub>1,2,3,4,5,6</sub> <0,05 |
| Пределы ротации ±5°            |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Зона 1                         | 1,1                       | 0,7  | 1,7               | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>6,7</sub> <0,05         |
| Зона 2                         | 2,5                       | 1,4  | 5,2               | P <sub>1,4,5,7</sub> <0,05     | P <sub>1,4,5,7</sub> <0,05     | P>0,05                         |
| Зона 3                         | 1,4                       | 1,4  | 3,9               | P <sub>7</sub> <0,05           | P <sub>7</sub> <0,05           | P>0,05                         |
| Зона 4                         | 1,1                       | 1,2  | 3,1               | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P>0,05                         |
| Зона 5                         | 0,8                       | 0,9  | 2,5               | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>2,6,7</sub> <0,05       | P <sub>7</sub> <0,05           |
| Зона 6                         | 2,9                       | 1,6  | 4,2               | P <sub>1,4,5,7</sub> <0,05     | P <sub>1,4,5</sub> <0,05       | P <sub>1</sub> <0,05           |
| Зона 7                         | 5,3                       | 2,4  | 8,9               | P <sub>1,2,3,4,5,6</sub> <0,05 | P <sub>1,2,3,4,5</sub> <0,05   | P <sub>1,5</sub> <0,05         |
| Ротации нет                    |                           |      |                   |                                |                                |                                |
| Зона 1                         | 0,8                       | 0,6  | 2,3               | P <sub>2,4</sub> <0,05         | P <sub>2,4</sub> <0,05         | P <sub>3,4,7</sub> <0,05       |
| Зона 2                         | 1,1                       | 0,7  | 3,2               | P <sub>1,3,4,7</sub> <0,05     | P <sub>1,3,4,7</sub> <0,05     | P <sub>3,4,7</sub> <0,05       |
| Зона 3                         | 0,6                       | 0,5  | 1,7               | P <sub>2,5,6</sub> <0,05       | P <sub>2,4,6</sub> <0,05       | P <sub>1,2,5,6</sub> <0,05     |
| Зона 4                         | 0,4                       | 0,4  | 1,4               | P <sub>1,2,5,6,7</sub> <0,05   | P <sub>1,2,3,5,6,7</sub> <0,05 | P <sub>1,2,5,6</sub> <0,05     |
| Зона 5                         | 0,9                       | 0,7  | 3,0               | P <sub>3,4</sub> <0,05         | P <sub>4</sub> <0,05           | P <sub>3,4,7</sub> <0,05       |
| Зона 6                         | 1,0                       | 0,8  | 2,4               | P <sub>3,4</sub> <0,05         | P <sub>3,4</sub> <0,05         | P <sub>3,4,7</sub> <0,05       |
| Зона 7                         | 0,7                       | 0,5  | 1,8               | P <sub>2,4</sub> <0,05         | P <sub>2,4</sub> <0,05         | P <sub>1,2,5,6</sub> <0,05     |

Примечание: \* нижний индекс обозначает номер кости, по сравнению с которой отклонения ПМПКТ статистически значимы; \*\* нижний индекс обозначает зону Груена, по сравнению с которой отклонения ПМПКТ статистически значимы

при исследовании каждой зоны, объединяли в одну группу.

При ротации бедренной кости от 50° до -30° различия между зонами Груена статистически значимы (P<0,05) (табл. 2). В зоне Груена 7 максимальная величина отклонений ПМПКТ достигает 65,2%, а в зоне 4 — 12,4%.

При ротации в пределах ±5° различия между зонами Груена также значимы (P<0,05) (табл. 2). Наименьшая величина отклонения ПМПКТ отмечена в зоне Груена 1 и составляет 1,7%, а наибольшая в зоне Груена 7 — 8,9%.

При отсутствии ротации ОВ аппаратно-программного комплекса (табл. 2) между зонами Груена также статистически значима (P<0,05), и максимальная величина отклонений ПМПКТ на-

блюдается в зоне 2 (3,2%).

Вышеприведенные данные позволяют утверждать, что ОВ зависит от:

- индивидуальных анатомо-рентгенологических особенностей костей;
- индивидуальных анатомо-рентгенологических особенностей зон Груена;
- даже незначительной степени ротации кости вокруг ее продольной оси;
- функционирования аппаратно-программного комплекса.

Для дальнейшего рассмотрения материала необходимо учитывать следующее:

- ротацию, возникающую при нарушении укладки, и ее эффект можно минимизировать до клинически незначимых величин неукос-

Таблица 3. Доля (%) из 10000 выборок, Мср которых не выходит за пределы генеральной Мср±1,0%

| Зона<br>Груена | Кость | Число исследований в выборке |       |       |       |       |       |       |       |      |
|----------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                |       | 2                            | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10   |
| 1              | 1     | 75,8                         | 96,8  | 95,6  | 99,5  | 99,6  | 99,8  | 99,0  | 100,0 | 99,0 |
|                | 2     | 55,2                         | 75,6  | 83,8  | 97,1  | 91,6  | 93,7  | 95,9  | 97,2  | 97,4 |
|                | 3     | 95,5                         | 99,0  | 99,8  | 97,8  | 99,9  | 99,9  | 100,0 | 100,0 | 99,2 |
| 2              | 1     | 86,5                         | 95,9  | 97,3  | 98,8  | 99,5  | 99,7  | 99,8  | 99,9  | 99,5 |
|                | 2     | 68,7                         | 79,4  | 85,5  | 90,9  | 94,0  | 95,7  | 97,3  | 98,1  | 98,2 |
|                | 3     | 53,1                         | 74,9  | 84,8  | 96,7  | 88,8  | 93,1  | 94,1  | 95,7  | 96,7 |
| 3              | 1     | 73,1                         | 89,2  | 95,1  | 97,3  | 98,6  | 99,1  | 99,3  | 99,7  | 99,2 |
|                | 2     | 98,0                         | 99,6  | 99,9  | 98,4  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,1 |
|                | 3     | 93,2                         | 94,4  | 94,8  | 96,8  | 97,2  | 97,8  | 97,8  | 100,0 | 98,5 |
| 4              | 1     | 97,9                         | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 98,4 |
|                | 2     | 93,3                         | 92,8  | 93,0  | 94,6  | 95,0  | 96,0  | 97,0  | 98,1  | 98,7 |
|                | 3     | 97,6                         | 99,5  | 99,9  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 98,4 |
| 5              | 1     | 73,6                         | 84,9  | 90,0  | 91,9  | 94,6  | 96,5  | 97,5  | 98,3  | 98,1 |
|                | 2     | 87,0                         | 92,8  | 94,9  | 97,2  | 98,1  | 98,2  | 98,8  | 98,6  | 98,7 |
|                | 3     | 80,4                         | 92,0  | 93,9  | 95,8  | 98,2  | 98,8  | 99,5  | 99,5  | 99,8 |
| 6              | 1     | 68,7                         | 77,0  | 96,0  | 96,5  | 92,5  | 95,1  | 96,1  | 97,2  | 97,9 |
|                | 2     | 71,4                         | 80,3  | 97,1  | 95,2  | 94,2  | 95,8  | 96,9  | 97,8  | 98,4 |
|                | 3     | 73,7                         | 76,9  | 96,8  | 95,2  | 93,7  | 95,6  | 97,0  | 97,9  | 97,7 |
| 7              | 1     | 84,7                         | 96,9  | 98,7  | 99,3  | 99,5  | 99,9  | 99,9  | 100,0 | 99,8 |
|                | 2     | 97,7                         | 99,5  | 99,9  | 98,2  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 99,1 |
|                | 3     | 93,1                         | 97,7  | 98,3  | 98,7  | 99,3  | 99,5  | 99,4  | 99,2  | 99,4 |

нительным соблюдением медперсоналом инструкций, определяющих условия выполнения обследования пациента;

- даже не прибегая к использованию методов статистического анализа, можно видеть, что значения ОБ аппаратно-программного комплекса существенны и могут нивелировать истинные отклонения ПМПКТ в зоне интереса. Случайный характер этой ошибки требует специального алгоритма исследования, низводящего ее до клинически незначимых цифр.

#### Теоретическое обоснование клинически допустимой ОБ

Согласно данным W. Brodner et al. [7], в зоне Груена 1 через шесть месяцев после операции среднее изменение ПМПКТ составило 5%, а исходя из принципов расчета средней величины, почти у половины пациентов эти значения должны быть меньше среднего. Поэтому мы постулируем, что в условиях индивидуального мониторинга пациента истинные отклонения ПМПКТ в 3% не должны быть нивелированы ОБ. Эта проблема более детально рассмотрена выше в разделе, представляющем материал и методы.

Выполнить эти условия можно только путем повторных исследований без изменения укладки и представления результатов в виде средних величин. Для определения их необходимого количества использован метод компьютерного

моделирования.

#### Компьютерное моделирование

Установлено (табл. 3), что требуемое число исследований для снижения ОБ аппаратно-программного комплекса до клинически незначимых величин фактически зависит как собственно от кости, так и от зоны Груена. Например, при исследовании ПМПКТ кости 3 в зонах 1 и 4 достаточно двух исследований, в зонах 3 — трех, а в зоне 5 — четырех. В то же время в зоне 2 при исследовании кости 2 не хватало и четырех исследований. Аналогичная картина получена и в других случаях (табл. 3). В связи с вышеизложенным в каждом конкретном случае при решении вопроса о минимально необходимом количестве повторных исследований предлагается описанный ниже подход.

Первоначально проводят два последовательных исследования без изменения укладки и по их результатам для каждой зоны Груена рассчитывают  $M_{ср1}$  ПМПКТ. Если оба результата находятся в пределах  $M_{ср1} \pm 1\%$ , на этом можно остановиться. В противном случае надо выполнить еще одно исследование. После этого по результатам всех трех исследований в каждой зоне Груена рассчитывают  $M_{ср2}$  и сравнивают с  $M_{ср1}$ . Если разница между ними меньше 1%, количество исследований считается достаточным, если больше, то необходимо еще одно повторное исследование, и так до тех пор, пока разница

между Мср предыдущего исследования и Мср последнего не станет  $\geq 1\%$ .

Однако на практике этот подход можно использовать только при условии соответствующего программного обеспечения. В противном случае проведение расчетов крайне затруднит работу медперсонала и существенно увеличит длительность исследования. Поэтому нами был осуществлен дополнительный анализ результатов.

Как видно из табл. 3, существует 21 вариант исследований семи зон Груена в трех костях. При этом в 24% этих вариантов достаточно выполнения двух последовательных исследований, в 43% — трех, в 67% — четырех и 90% случаях — пяти. Следовательно, проведение пяти повторных исследований без изменения укладки<sup>6</sup> позволяет нивелировать ошибку до клинически незначимых величин. При этом средние значения ПМПКТ в каждой ЗИ будут находиться в пределах  $\pm 1\%$  от истинных. Последний вариант оптимизации алгоритма исследования, на наш взгляд, более адаптирован к использованию на практике.

## Литература

1. Аврунин А.С. Метод двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии при динамическом контроле состояния костной ткани в процессе лечения остеопороза / А.С. Аврунин, Н.В. Корнилов // *Гений ортопедии*. — 2002. — № 2. — С. 123–128.
2. Неинвазивный клинический метод оценки остеоцитарного ремоделирования. Новые возможности двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии / А.С. Аврунин, Р.М. Тихилов, И.И. Шубняков [и др.] // *Ортопед., травматол.* — 2008. — № 2. — С. 67–74.
3. Оценивает ли двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия параметры физиологического обмена минерального матрикса? / А.С. Аврунин, Р.М. Тихилов, И.И. Шубняков [и др.] // *Гений ортопедии*. — 2008. — № 1. — С. 41–49.
4. Аврунин А.С. Позволяет ли метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии выявить быстрые колебания проекционной минеральной плотности костной ткани в поясничном отделе позвоночника? / А.С. Аврунин, Р.М. Тихилов, И.И. Шубняков [и др.] // *Вестник травматол. и ортопед. им. Н.Н. Приорова*. — 2008. — № 3. — С. 47–52.
5. Гублер Е.В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов / Е.В. Гублер. — Л.: Медицина, 1978. — 294 с.
6. Нормы радиационной безопасности НРБ-99: СП 2.6.1.758-99. — Офиц. изд. — М.: Минздрав, 1999.
7. Changes in bone mineral density in the proximal femur after cementless total hip arthroplasty / W. Brodner, P. Bitzan, F. Lomoschitz [et al.] // *J. Bone Joint Surg.* — 2004. — Vol. 86-B, № 1. — P. 20–26.
8. Chan K.M. Exercise interventions: Defusing the world's osteoporosis time bomb / K.M. Chan, M. Anderson, M.C. Edith Lau // *Bulletin WHO*. — 2003. — Vol. 81, № 11. — P. 827–830.

1. Аврунин А.С. Метод двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии при динамическом контроле состояния

<sup>6</sup> Медицинское облучение не нормируется, за исключением случаев профилактических медицинских исследований и исследований практически здоровых людей с научно-исследовательской целью. В последнем случае годовая эффективная доза не должна превышать 1 мЗв [6], в то время как диапазон значений эффективных доз для современных костных денситометров составляет от 1 до 10 мкЗв [8], а согласно нашим данным, лучевая нагрузка при использовании ДЭРА составляет 0,01 мЗв и меньше [1]. Это соответствует среднему уровню облучения населения России от природного фона в течение одного дня.