

М. А. Юрченко¹, Г. В. Золотенкова¹, Ю. И. Пиголкин¹ и М. В. Федулова²

МИНЕРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ КОСТНОЙ ТКАНИ КАК ПРИЗНАК ВОЗРАСТНОЙ ИНВОЛЮЦИИ КОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

¹ Кафедра судебной медицины (зав. — чл.-кор. РАМН, проф. Ю. М. Пиголкин), Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова; ² Российский центр судебно-медицинской экспертизы, Москва

Обзор литературы содержит анализ современного состояния проблемы использования различных морфологических методов для исследования возрастной инволюции костной системы человека и их применения в процессе судебно-медицинской идентификации личности. Отмечены трудности применения существующих методов количественной морфологии при установлении биологического возраста. Проанализированы возможности практического использования рентгенографических методов изучения скелета, в том числе и определения показателя минеральной плотности, в качестве маркера возрастных изменений костной ткани. Отмечена неоднозначность полученных результатов исследований, рассмотрены вероятные причины и факторы, способствующие вариативности результатов. Сделан вывод о том, что использование денситометрии компьютерных томограмм различных отделов костного скелета в комплексе с другими методами, является перспективными для установления возрастного интервала при проведении судебно-медицинских идентификационных экспертиз.

Ключевые слова: *костная ткань, возрастные изменения, минеральная насыщенность, денситометрия, идентификация личности*

Идентификация личности представляет собой одну из наиболее актуальных проблем судебной медицины [5, 57, 59]. В последнее время актуальность данной проблемы возросла в связи с участвовавшими случаями локальных военных конфликтов, увеличением количества массовых катастроф на транспорте, стихийных бедствий и ростом неорганизованной миграции. Трудность в решении данной проблемы заключается, прежде всего, в большом разнообразии объектов идентификации, обширности экспертной работы и многочисленности методов исследования, неодинаковых по технологии, сложных по выполнению и оценке результатов [2, 4, 5, 57]. Практика показывает, что число неопознанных трупов в случаях массовых катастроф достигает 50% и более [5]. Процесс идентификации личности базируется на объективном существовании индивидуальной и групповой изменчивости биологических признаков. Теоретической базой судебно-медицинской идентификации личности является судебная антропология [26, 44].

Состояние проблемы. На сегодняшний день разработан ряд высокоэффективных методов идентификации личности [1, 2]. Однако возмож-

ность их применения ограничивается необходимостью предоставления на экспертизу достаточно сохранного биологического материала и недостатком сравнительного материала, обусловленного отсутствием в России единого банка идентификационных данных. В этой связи при судебно-медицинской идентификации личности в условиях фрагментации тел, значительных повреждений трупов за счет воздействий физических факторов большой силы, поздних трупных изменений, главенствующую роль приобретают общие признаки (пол, возраст, рост и т. д.), позволяющие установить принадлежность идентифицируемого к определенной группе [15, 24, 44, 45].

Определение возраста, как одного из основных общегрупповых признаков, позволяет ограничить круг объектов, подлежащих дальнейшему сравнительному исследованию. Основой для судебно-медицинского установления возраста служит такой раздел антропологии, как возрастная морфология, изучающая макроскопические и микроскопические закономерности изменения органов и тканей в процессе онтогенеза. В настоящее время эта наука достигла значительных результатов. Работы по возрастной морфологии выполнялись

Сведения об авторах:

Юрченко Марк Александрович (e-mail: dermatolog@rambler.ru), *Золотенкова Галина Вячеславовна* (e-mail: zolotenkovagalina@bk.ru), *Пиголкин Юрий Иванович* (e-mail: pigolkin@mail.ru), кафедра судебной медицины, Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова, 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2;

Федулова Мария Владимовна (e-mail: marfedul@rambler.ru), отдел лабораторных, морфологических и специальных исследований, Российский центр судебно-медицинской экспертизы, 125 284, Москва, ул. Поликарпова, 12/13

с использованием большого количества методов исследования, благодаря чему получен огромный фактический материал. Установлены общие закономерности процесса старения, проявлений механизма инволютивных изменений, выяснены многочисленные условия, влияющие на темпы и характер эволюции костной системы [3, 8, 10, 19, 22, 33, 34, 42]. В опубликованных ранее работах для дифференцированного исследования возрастных изменений костной ткани весь диапазон возрастов предложено делить на следующие интервалы: менее 18 лет, от 18 до 27, от 27 до 50, более 50 лет [43, 48]. Одним из оснований такого выделения возрастных групп послужило фундаментальное представление биологии о том, что возрастные изменения всех структур организма в условиях относительной нормы проходят три стадии: созревания, стабилизации и инволюции [42]. Другим источником явились результаты предварительных собственных исследований авторов, показавшие, что наличие некоторых структур в препаратах костной ткани наблюдается лишь в определенных возрастных периодах. Эти признаки можно использовать для отнесения идентифицируемого к тому или иному возрастному интервалу [17, 42, 48].

Исследование костных останков в процессе идентификации личности традиционно занимает главенствующую роль, вследствие того, что они наиболее устойчивы к воздействию внешней среды [4, 9, 30]. Нередко, с целью сокрытия следов преступлений, убийцы используют изощренные способы уничтожения трупов, затрудняющие их отождествление [41, 62]. Однако по костям даже через многие годы после смерти возможно распознать общегрупповые и индивидуализирующие признаки, служащие основанием для идентификации [13–15, 42]. Даже кремированные останки могут включать в себя фрагменты головки бедренной кости, таза, черепа и зубов, достаточные для диагностики пола, возраста [9, 30, 63]. Согласно мнению многочисленных исследователей, состояние костной системы отражает общие процессы развития организма и является наиболее информативным показателем биологического возраста [12, 16, 31, 39, 48, 49]. Исходя из этого, исследование костного скелета при проведении идентификационных экспертиз занимает особо важное место, особенно в тех случаях, когда объектами становятся скелетированные, расчлененные трупы.

Для изучения возрастной морфологии костной системы используются целый ряд методов: антропометрический, остеометрический, остеоскопический, рентгенологический, гистологический, каж-

дый из которых имеет свои преимущества и недостатки. За последние годы как в нашей стране, так и за рубежом, количество судебно-медицинских статей об определении возраста остеоскопическими и остеометрическими методами значительно уменьшилось. Если в антропологии, как правило, проводится исследование целых, неповрежденных костей скелетированных трупов, то судебные медики, как уже было отмечено выше, в последнее время все чаще сталкиваются с необходимостью определения групповых признаков по фрагментам костей или частям тела трупов с малой давностью смерти. В этом случае оптимальными и наиболее точными являются микроosteометрические и рентгенографические методы, которые начали успешно развиваться и становиться все более применимыми. С тех пор как судебно-медицинское установление возраста выделилось в качестве самостоятельной научно-практической проблемы, именно использование рентгенографии стало одним из важнейших направлений в её разработке [18, 32].

Методы рентгенографического изучения костной системы, появившись в начале прошлого века, заняли прочное место в арсенале исследователей в области антропологии, геронтологии и судебной медицины и широко используются до нашего времени. За более чем вековое существование рентгенологии проделана огромная работа по изучению нормальной анатомии человека, вариантов его развития и увядания. К настоящему времени сформировалось несколько направлений научно-практического использования рентгенографических методов изучения скелета. Одно из направлений — изучение биологической нормы процессов старения как на индивидуальном, так и на групповом уровне. В последнем случае в качестве объектов исследования выступают группы индивидов, объединенные по признакам профессиональной, географической (популяция) или этнической принадлежности. Опыт массового мониторинга возрастных показателей старения костной системы обеспечивает необходимую базу для развития второго направления — разработки экспертных методов идентификации личности как для определения возраста, так и для выявления индивидуализирующих признаков [18, 44, 48, 60].

Одна из ведущих ролей на начальном этапе изучения старения скелета принадлежит Д. Г. Рохлину, с именем которого связано формирование рентгенологии как особого направления науки. В 30-е годы XX в. под его руководством в Ленинграде были организованы массовые рентгенологические исследования, результаты которых стали классикой отечественной науки.

Им был обоснован тезис об особом месте скелета среди прочих систем организма, имеющих четко обозначенные морфологические показатели старения, вследствие надежности опорных пунктов и относительной легкости распознавания тех признаков, которые характеризуют отдельные фазы старения [52].

Определение минеральной плотности костной ткани (МПКТ). В ряду рентгенологических исследований особое место занимают разработки, посвященные изучению индивидуальных и групповых различий в минеральной насыщенности, плотности костной ткани, что тесно связано с процессом остеопороза. В рамках данной работы представляют интерес те исследования, которые касаются возрастных изменений МПКТ. Универсальность этого важнейшего возрастного явления, его влияние на здоровье объясняют обширность литературы, посвященной данному вопросу. К одним из первых исследований динамики прижизненного определения минерализации скелета относится работа W. Forland [64], в которой представлены результаты анализа данных, полученных при обследовании 1200 человек различного возраста и обоего пола. Автор не смог обнаружить возрастную динамику минерализации, но пришел к выводу о большом размахе индивидуальной изменчивости степени минеральной насыщенности костей кисти и отсутствии половых различий. Дальнейшее развитие рентгенодиагностики скелета привело к накоплению данных о возрастных изменениях в различных отделах скелета и их дальнейшей детализации и систематизации. При этом, уже с 50-х годов прошлого столетия предпринимались попытки объективизировать результаты рентгенологических методов исследования кости, вводя количественную оценку потери костной массы (КМ). Был предложен метод рентгенологической морфометрии метакарпальной кости, который основывался на измерении толщины кортикального слоя и определения его отношения к общей толщине кости. Однако чувствительность метода оказалась низкой [62]. Разработан метод определения количественного содержания костных материалов путем измерения оптической плотности кости по рентгенограммам, выполненным с эталоном (алюминиевый и гидроксипативный ступенчатый клин). В данном случае определяется соответствие участка кости ступеньке клина, плотность которой известна заранее. Точность метода зависит от неоднородности измерения по полю, качеству фотоматериала, толщины мягких тканей [54]. Данные методики просты, доступны и дешёвы, однако, их точность и воспроизводимость резуль-

татов значительно уступает современным технологиям лучевой диагностики, которые обладают мощными разрешающими возможностями (денситометрия, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография), открывая тем самым широкие горизонты в изучении физиологических и патологических состояний человека. Появление новых методов исследования стимулирует рост научного интереса как к макро-, так и микропроцессам, происходящим в костной ткани. Особый интерес для судебно-медицинской практики в ряду рентгенологических исследований представляют разработки, посвященные изучению индивидуальных и групповых возрастных изменений КМ, МПКТ в отдельных участках скелета [12, 54–56, 62, 76]. Так, например, количественная компьютерная томография позволяет более точно определять снижение МПКТ до пороговых значений и избежать погрешностей, связанных с возрастными изменениями. Однако в настоящее время ведущим методом изучения состояния МПКТ является двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДЭРА, или DEXA). Данный метод сочетает высокую точность и воспроизводимость результатов с достаточно низкой лучевой нагрузкой, позволяя при этом определять массу минеральных веществ в кости и ее плотность как во всем скелете, так и в отдельных его участках [12, 73–75].

В последние годы неуклонно растет количество исследований, связанных с изучением МПКТ в различных возрастных группах, у людей, проживающих в разных географических зонах, с последующим сравнительным анализом между собой. Это обусловлено не только научным, но и практическим интересом, а именно, выявлением факторов, влияющих на процесс изменения массы и плотности кости. Опубликованы работы, в которых приводятся статистические данные о возрастной динамике КМ у здоровых детей и подростков России [6, 23, 26, 29, 51]. Д. С. Минников определил средние возрастные значения показателей содержания костного минерала и МПКТ у детей и подростков 6–18 лет, проживающих в Москве, установив при этом, что возраст формирования пика КМ отличается не только от нормы североамериканской популяции, но и от жителей другого российского региона — г. Новосибирска [28]. Проведено сравнение показателей МПКТ поясничных позвонков и шейек бедренных костей и их возрастной динамики у практически здоровых людей мужского пола Санкт-Петербурга в возрасте от 15 до 20 лет со стандартными значениями МПКТ для популяции москвичей и белых граждан США [26]. Полученные при этом результаты разнятся, однако находятся в пределах одного

возрастного интервала. Так, возраст появления пика КМ, по данным различных авторов, варьирует незначительно [23, 25, 55, 66]. У подростков и юношей Санкт-Петербурга выявлено, что МПКТ поясничных позвонков и шейки бедренных костей достигает пиковых значений после 20 лет, в среднем не ранее 21–22 лет [26]. На основании полученных значений МПКТ, с использованием уравнения линейной регрессии и рассчитанной ожидаемой части линии тренда определен пик КМ у девушек г. Новосибирска в возрасте 20–21 года, у юношей — в 22–23 года. У женщин, живущих в Уральском регионе, согласно проведенным исследованиям, пиковое значение КМ скелета формируется в возрасте 21–25 лет [38].

Установлено, что максимальные показатели КМ в различных отделах скелета у мужчин и женщин достигаются не одновременно. Однако в телах позвонков это происходит практически в один и тот же возрастной период (20–29 лет) [7]. Анализ литературы показал, что третье десятилетие жизни человека сопровождается потерей КМ. Общее уменьшение количества КМ свидетельствует о том, что масса образованной кости меньше массы резорбированной. Таким образом, возрастное снижение интенсивности ремоделирования костной ткани лежит в основе возрастной физиологической атрофии костной ткани [51]. При этом сам факт убывания костной ткани в процессе старения человека является универсальным феноменом, общим для людей обоего пола, всех расовых типов, различного социально-экономического статуса или физической активности. G. M. Kiebzak в своей обзорной статье указывает на то, что, несмотря на большие индивидуальные колебания в возрасте, начиная с которого костное убывание становится очевидным, кривая, изображающая потерю КМ с возрастом, показывает: как мужчины, так и женщины подвержены этому процессу, который начинается в середине 3-й декады жизни и в дальнейшем постепенно усиливается [67]. По данным Ю. И. Денисова-Никольского и соавт., увеличение степени минерализации костных структур имеет возрастающий характер для возрастных групп, вплоть до 44 лет, когда ими были зарегистрированы максимальные значения прочности и микротвердости, а в последующих возрастных группах динамика изменений изучаемых параметров характеризуется их монотонным снижением [11].

Снижение минерализации скелета с возрастом отчетливо прослеживается в исследовании Ю. В. Понятовского, который методом фотоденситометрии изучил 120 рентгенограмм правых коленных суставов в шести возрастных группах

и установил, что величина оптической плотности дистального эпифиза бедренной кости неуклонно уменьшалась с возрастом (в 2 раза с 20 до 70 лет и старше) [50]. Проведенный Е. М. Эйдлиной анализ средних значений параметров МПКТ поясничных позвонков в зависимости от возраста пациенток выявил тенденцию к более низким их значениям с увеличением возраста. Однако значимо более низкие показатели плотности ткани позвонков отмечались только у пациенток старше 60 лет при сравнении с возрастной группой 40–44 года. При сравнении средних значений BMD (bone mineral density — минеральная плотность кости, рассчитанная в г/см²) и BMC (bone mineral content — масса костной ткани — в граммах на единице длины — так называемые проекционные измерения, г/см) у женщин разных возрастных групп, выявлено, что значения BMD у женщин 55–59 лет в L_I, L_{II}, L_{III-IV} были значимо ниже, чем у женщин 40–44 лет, у женщин старше 60 лет средние значения BMC и BMD во всех позвонках были значимо ниже по сравнению с таковыми у женщин 40–49 лет, хотя тенденция к более низким показателям плотности минеральных веществ с увеличением возраста прослеживалась во всех возрастных группах [58]. Согласно результатам исследования Е. Н. Овчинникова, снижение КМ скелета у женщин отмечается после 46–50 лет, при этом первые признаки возрастной деминерализации костной ткани появляются в возрасте 31–35 лет в области шейки бедренной кости и затем распространяются по проксимальной её трети. В 60 лет масса минералов в скелете снижена на 10%, в 70 лет — на 17, в 80 — на 25% в сравнении с максимальным значением в возрасте 21–25 лет [38]. В работе Е. И. Толстых также приводятся данные о фазовом характере скорости резорбции кортикальной кости у женщин и мужчин после 30 лет [53]. R. Macchiarelli и L. Bondioli при исследовании проксимального конца бедренной кости показали наличие полового диморфизма в процессе потери КМ [71].

В результате проведенных ранее исследований нами также установлены ряд закономерных возрастных изменений костной ткани. В качестве материала использованы рентгенограммы левой кисти 2000 индивидов в возрасте от 0 до 94 лет. Исследование рентгенограмм, помимо планиметрических исследований, для повышения точности оценки биологического возраста включало определение степени минерализации костной ткани посредством измерения оптической плотности её изображения с помощью фотометра и денситометра Digital Densitometer II (Model 07-440, производитель Victoreen, LLC, США).

Было выявлено, что МПКТ до 30 лет практически не изменяется, а в старших возрастных группах значимо уменьшается, и этот параметр может использоваться, наряду с другими признаками, в составлении регрессионных уравнений для вычисления биологического возраста человека в судебно-медицинских целях [26]. Эти результаты подтверждаются проведенными морфометрическими исследованиями недекальцинированных препаратов большеберцовой кости. Установлено статистически значимое увеличение средней плотности и доли в поле зрения темноокрашенных алizarиновым красным S остеонов, интенсивность окраски которых обусловлена степенью минерализации костной ткани, в возрастном интервале от 27 до 50 лет. Именно в этом возрастном интервале степень минеральной насыщенности является максимальной, увеличиваясь по сравнению с данными этого показателя предыдущей возрастной группы (18–27 лет) более чем в 2 раза, и в последующем у людей старше 50 лет снижается [17]. Таким образом, исследователи, занимавшиеся изучением динамики неорганического компонента костей в пожилом и старческом возрасте, единодушны в своих выводах: в указанном возрастном периоде отмечается снижение количества минеральных солей в костной системе.

Отмечая фазовый характер возрастных изменений МПКТ, большинство авторов выделяют влияние ряда факторов как на весь процесс постнатального развития костной ткани в целом, так и на индивидуальный темп достижения пикового значения КМ [20, 21, 36]. Вероятно, это связано с тем, что структура костной ткани в ходе онтогенеза подвергается непрерывному ремоделированию под влиянием постоянно меняющейся механической нагрузки на кость, изменений минерального обмена в организме, а также необходимости регенерации костной ткани в связи с гибелью остеоцитов [61]. Морфомеханический анализ костей человека различной локализации свидетельствует о том, что степень минерализации кости и соответствующие ей механические параметры зависят от уровня и характера функциональных нагрузок [11, 27]. В работах Б. А. Никитюка показан неоднозначный характер воздействия нагрузок на кость: в молодом и зрелом возрасте динамические нагрузки стимулируют остеогенез, а в пожилом и старческом — тормозят. Статические нагрузки оказывают такое же двойное действие. Анализ связи старения различных костей скелета показал взаимообусловленность их изменения с возрастом, причем отмечено, что степень связи уменьшается с переходом от пожилого возраста к старческому [21, 34, 35]. О. М. Павловский на основе

обработки и обобщения материалов многолетних массовых рентгеноантропологических исследований минеральной насыщенности скелета, исследуя возрастные показатели в различных этнотерриториальных группах населения, установил, что для показателей минерализации скелета характерны географический вектор изменчивости, преемственность темпов онтогенеза и индивидуальность процессов старения, связанная с большим числом биологических характеристик индивида [40]. При этом, установлено значимое расхождение результатов измерения МПКТ в разных отделах скелета. Проксимальный конец бедренной кости стал объектом экспериментального исследования N. Lunneper и соавт. [70]. Полученные ими данные демонстрируют линейные отношения между возрастом и изменениями в трабекулярных структурах [70]. R. V. Mazess и соавт. сообщили о стабильных значениях МПКТ шейки бедренных костей у людей в возрасте от 20 до 35 лет [72–74]. Вместе с тем, H. Kroger и соавт. выявили линейное снижение МПКТ в шейке бедренных костей уже в возрасте 20–24 лет [68, 69]. R. Geusens и соавт. [65] установили различия в возрасте начала потери МПКТ аксиального и периферического скелета. В поясничном отделе также изменения наблюдались уже с 25 лет как у мужчин, так и у женщин, в то же время в предплечьи снижение МПКТ выявилось у женщин с 55 лет и у мужчин — с 65 лет [72, 74]. Таким образом, максимальные показатели КМ в различных отделах скелета достигаются неодновременно, формируя при этом значимые возрастные различия в формировании КМ периферического и центрального скелета. При равном уровне точности и воспроизводимости измерений диагностическая значимость исследований аксиального скелета (sDXA) существенно выше, чем периферического. Между тем, МПКТ костей предплечья и стопы весьма индивидуальна. Она зависит от интенсивности и специфичности местных нагрузок (характер работы, образ жизни, социальный статус, спортивные увлечения, наличие автомобиля и т. д.), скорость же изменения МПКТ как вследствие заболеваний, так и в ответ на проводимое лечение, существенно ниже, чем в аксиальном скелете. Это убеждает в необходимости проведения исследования как можно большего количества костей, что снизит вероятность ошибки при определении возрастного интервала.

Проблемы применения методов количественной морфологии при установлении биологического возраста. Общепринятый в настоящее время алгоритм установления личности [26, 48] рекомендует начинать всякое идентификационное

исследование с определения общих признаков и только потом переходить к частным. В случаях катастроф с массовыми человеческими жертвами, когда возникает необходимость сравнения большого объема информации, полученной разными методами, установление общегрупповых признаков лежит в основе сортировки, ускоряя последующий целенаправленный поиск индивидуальных признаков и в некоторых случаях обеспечивает возможность проведения идентификации личности методом исключения. Однако в настоящее время ни один из методов судебно-медицинской идентификации личности в отдельности не позволяет решить все вопросы, возникающие при опознании фрагментированных, поврежденных, скелетированных трупов. Учитывая значимость проблемы идентификации личности в России, продолжение научных исследований, направленных на развитие и совершенствование методов определения возраста, является крайне актуальным.

Перспективы решения проблемы. Существует необходимость в расширении спектра применяемых современных методов исследования, использования как можно большего количества органов и систем для более точного и полного анализа, в первую очередь, биологического возраста человека, с последующим созданием принципиального алгоритма исследования [44, 46, 47].

Старение опорно-двигательного аппарата, как и всего организма в целом, развивается в соответствии с закономерностями гетерохронии (разновременность), которая проявляется тем, что разные функции снижаются с неодинаковой скоростью у одного и того же человека [10, 32, 33]. На практике это означает, что уровень диагностической значимости каждого признака в разные периоды жизни неодинаков. Поэтому создание единой математической модели возрастных изменений для всего диапазона возрастов дает менее точные результаты, чем разделение этого диапазона на отдельные интервалы и разработка различных уравнений регрессии для каждого интервала [33].

Методы установления биологического возраста могут характеризовать степень развития структур организма, в том числе и костей различной локализации, выраженность приспособительных изменений и процессов возрастной инволюции в них. Поэтому при разработке принципиального алгоритма исследований целесообразно использовать результаты денситометрии различных костей скелета.

Обзор накопленных сведений о фазовом характере процесса изменения МПКТ в течение жизни указывает на возможность использования денситометрического метода при определении

минеральной плотности костной ткани в случаях когда эксперт сталкивается с фрагментированными останками. Минеральная насыщенность может являться одним из дополнительных критериев определения возрастного интервала.

Таким образом, исследования в направлении изучения возможности использования денситометрии КМ различных отделов костного скелета в комплексе с другими методами для установления возрастного интервала при проведении судебно-медицинских идентификационных экспертиз являются, на наш взгляд, перспективными. Применение данного метода обеспечит системный подход и учет всей информации, которая могла бы, в конечном итоге, повысить точность экспертного заключения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов С. С. Компьютеризация краниофациальной идентификации (методология и практика): Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1998.
2. Абрамов С. С., Гедыгушев И. А., Звягин В. Н. и др. Медико-криминалистическая идентификация: Настольная книга судебно-медицинского эксперта. М., Норма-Инфра, 2000.
3. Алексина Л. А., Горшков А. Н., Ковалев А. В. и др. Определение возраста и пола по рентгенограммам костей кисти. Пособие для судебно-медицинских экспертов и студентов медицинских вузов. СПб., изд. СПбГМУ, 1998.
4. Алпатов И. М., Звягин В. Н. и Золотенкова Г. В. Возможности оперативного проведения идентификации останков человека при сильном разрушении под воздействием физических факторов. Суд.-мед. эксперт., 2002, № 4, с. 35–39.
5. Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты. В кн.: Медицина катастроф и реабилитация. М., МГФ «Знание», 1999.
6. Бурдыгина Н. В. Минеральная плотность костной ткани по данным двух-фотонной рентгеновской абсорбциометрии (*in vivo*) и нейтронно-активационного анализа (*in vitro*) у жителей городов Москвы и Обнинска: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2000.
7. Власова И. С. и Рубченко Т. И. Изучение минеральной плотности трабекулярного вещества позвонков методом количественной компьютерной томографии у женщин с хирургической менопаузой. Остеопороз и остеопатии, 1999, № 4, с. 16–18.
8. Волкова О. В. и Пекарский М. И. Эмбриогенез и возрастная гистология внутренних органов человека. М., Медицина, 1976.
9. Голубович Л. Л. Современные возможности идентификации личности по костям, подвергшимся воздействию высокой температуры: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук, М., 1991.
10. Давыдовский И. В. Геронтология. М., Медицина, 1966.
11. Денисов-Никольский Ю. И., Миронов С. П., Омеляненко Н. П. и Матвейчук И. В. Актуальные проблемы теоретической и клинической артрологии. М., ОАО Типография «Новости», 2005..

12. Егоров В. В., Ли Д. Х. и Рахманов А. С. Современные методы и аппаратура для денситометрии костной ткани. *Клин. рентгенол.*, 1995, № 6, с. 17–25.
13. Звягин В. Н. Методические рекомендации об определении возраста взрослого человека по швам свода черепа. М., Минздрав СССР, 1975.
14. Звягин В. Н. Динамика минерального обмена костей черепа по данным эмиссионного спектрального анализа. В кн.: *Актуальные вопросы судебно-медицинской экспертизы трупа*. М., Медицина, 1977, с. 54–56.
15. Звягин В. Н., Галицкая О. И., Березовский М. Е. и Королев В. В. Новый групповой критерий для дифференциации жертв массовых катастроф. *Пробл. экспертизы в медицине*, 2001, т. 1, № 2, с. 4–8.
16. Зинин А. М. и Подволоцкий И. Н. *Габитоскопия: учебное пособие*. М., Юрлитинформ, 2006.
17. Золотенкова Г. В. Судебно-медицинское установление возраста по морфологическим особенностям большеберцовой кости на основе микроостеометрических исследований: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2003.
18. Ковалев А. В. Идентификация личности по особенностям строения грудной клетки и позвоночника: (рентгенол. и судеб.-мед. исслед.): Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 1996.
19. Коган Б. И. Закономерности роста и возрастных преобразований скелета: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Л., 1984.
20. Коган Б. И. Наследственно обусловленные параметры роста и старения скелета на различных этапах онтогенеза. *Арх. анат.*, 1984, т. 86, вып. 2, с. 58–65.
21. Корнев М. А. Влияние занятий некоторыми видами спорта на скелет кисти подростков и юношей. *Арх. анат.*, 1980, т. 78, вып. 2, с. 5–9.
22. Корнев М. А. Возрастные и половые особенности минерализации костей кисти человека. *Арх. анат.*, 1983, т. 85, вып. 9, с. 13–26.
23. Котова С. М., Карлова Н. А., Максимцева И. М. и Жорина О. М. Формирование скелета у детей и подростков в норме и патологии: учебное пособие. СПб., Изд-во СПбГМА им. И. И. Мечникова, 2002.
24. Крымова Т. Г. Система комплексного исследования признаков человека на основе результатов анализа элементного состава костной ткани: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2008.
25. Мазуров В. И. Актуальные вопросы диагностики остеопороза: методическое пособие для врачей по материалам симпозиума. Санкт-Петербург, Февраль 1997 года. СПб., Ком. по здравоохранению администрации Санкт-Петербурга, Гор. консульт.-диагност. центр профилактики остеопороза, Санкт-Петербургск. мед. акад. последиплом. образования. Обществ. орг. Санкт-Петербургск. группа изучения остеопороза, 1998.
26. Малинин В. Л. Возрастные параметры минеральной плотности костной ткани подростков и юношей Санкт-Петербурга: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2004.
27. Матвейчук И. В. Структурно-функциональная адаптация костной ткани как композита с учетом видовых, возрастных и функциональных особенностей: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1998.
28. Минников Д. С. Минеральная плотность костной ткани в популяции здоровых детей и подростков города Москвы: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2009.
29. Миронов С. П. Минеральная плотность костной ткани в популяционной выборке лиц от 15 до 55 лет по данным двух-энергетической денситометрии: Метод. указания № 99/114. М., изд. ЦНИИТИО им. Н. Н. Пирогова, 2000.
30. Найнис Й.-В. Й. Идентификация личности по проксимальным костям конечностей. Вильнюс, Минтис, 1972.
31. Некачалов В. В. Патология костей и суставов: Руководство. СПб., Сотис, 2000.
32. Неклюдов Ю. А. Диагностические критерии групповых признаков индивида на скелете верхней конечности и некоторые общие вопросы судебно-медицинской остеологической экспертизы: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 1985.
33. Неклюдов Ю. А. Экспертная оценка возрастных изменений скелета верхней конечности. Саратов, изд. Саратовск. мед. института, 1992.
34. Никитюк Б. А. Функциональные основы старения скелета. *Вопр. антропол.*, 1968, вып. 30, с. 69–87.
35. Никитюк Б. А. Старение скелета и некоторые факторы, его регулирующие: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1969.
36. Никитюк Б. А. Факторы роста и морфофункционального созревания организма (анализ наследственных и средовых влияний на постнатальный онтогенез). М., Наука, 1978.
37. Никитюк Д. Б. и Выборная К. В. Конституциональный и антропометрический подходы к изучению детского организма. *Морфология*, 2006, т. 130, вып. 5, с. 64–65.
38. Овчинников Е. Н. Возрастные изменения минеральной плотности костной ткани у женщин: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Курган, 2004.
39. Осипенкова-Вичтомова Т. К. Судебно-гистологическая экспертиза костей. М., ВИКРА, 2000.
40. Павловский О. М. Биологический возраст человека. М., Изд-во МГУ, 1987.
41. Пашкова В. И. Состояние и перспективы развития проблемы отождествления личности по костным останкам. *Суд.-мед. эксперт.*, М., Медицина, 1978, т. 22, № 1, с. 10–13.
42. Пиголкин Ю. И. Функциональная морфология нервного аппарата кровеносных сосудов спинного мозга в норме и при механической травме: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Л., 1991.
43. Пиголкин Ю. И. Возрастная динамика костной ткани и её значение в судебно-медицинской практике установления возраста. *Вестн. РАМН*, 2003, № 6, с. 10–15.
44. Пиголкин Ю. И. Современные методы судебно-медицинской идентификации личности. *Рос. мед. вести*, 2004, № 3, с. 73–75.
45. Пиголкин Ю. И., Богомолов Д. В. и Золотенкова Г. В. Значение общих признаков для идентификации личности и перспективы развития методов их определения. *Альманах суд. мед.*, СПб., 2001, № 2, с. 67–69.
46. Пиголкин Ю. И. и Богомолова И. Н. Применение принципов доказательной медицины в качестве критериев полезности новых методов исследования в экспертной практике. *Суд.-мед. эксперт.*, 2003, № 4, с. 47–49.
47. Пиголкин Ю. И., Золотенкова Г. В., Романенко Г. Х. и др. Состояние и перспективы научных исследований по судебной медицине в России. *Здравоохр. Таджикистана*, 2008, № 3, с. 20–27.
48. Пиголкин Ю. И., Федулов М. В. и Гончарова Н. Н. Судебно-медицинское определение возраста. М., Медицинское информационное агентство, 2006.

49. Подрушняк Е. П. Костная ткань и старение. *Вопр. геронтол.*, 1989, вып. 11, с. 49–53.
50. Понятовский Ю. В. Морфогистохимические особенности структур коленного сустава человека в различные возрастные периоды. *Врач. дело*, 1979, № 10, с. 73–75.
51. Родионова С. С., Колондаев А. Ф. и Меркулов В. Н. Идиопатическая форма ювенильного остеопороза: клиника, диагностика, профилактика, лечение: Пособие для врачей. М., изд. ЦНИИТИО им. Н. Н. Приорова, 2002.
52. Рохлин Д. Г. Рентгеноостеология и рентгеноантропология. Л., М., Огиз-Биомедгиз, 1936, ч. 1.
53. Толстых Е. И. Половозрастные особенности минерализации скелета у жителей радиоактивно загрязненных территорий Уральского региона: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Челябинск, 2006.
54. Франке Ю. и Рунге Г. Остеопороз. М., Медицина, 1995.
55. Хеаней П. Р. и Матковик В. Неадекватное значение пиковой костной массы. В кн.: Остеопороз. Этиология, диагностика, лечение. Бином, Невский диалект, СПб., 2000, с. 135–153.
56. Хосла С. и Мелтон Л. Д. Вторичный остеопороз. Там же, с. 209–210.
57. Щербakov В. В. Организационные и научно-методические принципы медико-криминалистической идентификации в условиях чрезвычайных ситуаций с массовыми человеческими жертвами: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2000.
58. Эйдлина Е. М. Алгоритм лучевой диагностики остеопороза в системе профилактики компрессионных переломов тел позвонков у женщин: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Курган, 2005.
59. Юдина Н. Г. Особенности судебно-медицинской экспертизы трупов при идентификации в случаях массовых катастроф: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Самара, 2001.
60. Benthau S. Systematik der Rontgenidentifikation— Praktisches Vorgehen und neue Hilfsmittel. *Arch. Kriminol.*, 1997, Bd. 200, № 3–4, S. 95–106.
61. Cool S. M., Hendrikz J. K. and Wood W. B. Microscopic age changes in the human occipital bone. *J. Forensic Sci.*, 1995, v. 40, № 5, p. 789–796.
62. Cooper C. Bone mass throughout life: bone growth and involution. In: *Osteoporosis. Pathogenesis and Management*. London, Kluwer, 1990, p. 1–26.
63. Fierro M. F. Identification of human remains. In: *Spitz and Fisher's Medico-Legal Investigation of Death: Guidelines for the forensic applications of pathology to crime investigation* (3rd edn.). Springfield, Charles C Thomas, 1993, p. 14–70.
64. Forland W. Evaluation of bone density from roentgenograms. *Science*, 1954, v. 18, p. 4.
65. Geusens P., Dequeker J., Verstraeten A. and Nijs J. Age-, sex-, and menopause-related changes of vertebral and peripheral bone: population study using dual and single photon absorptiometry and radiogrammetry. *J. Nucl. Med.*, 1986, v. 27, № 10, p. 1540–1549.
66. Gordon C. L., Halton J. M., Atkinson S. and Webber C. E. The contributions of growth and puberty to peak bone mass. *Growth Dev. Aging.*, 1991, v. 55, p. 257–262.
67. Kiebzak G. M. Age related bone changes. *Exp. Gerontol.*, 1991, v. 26, p. 171–187.
68. Kroger H., Miettinen H., Arnala I. et al. Evaluation of periprosthetic bone using dual-energy x-ray absorptiometry: precision of the method and effect of operation on bone mineral density. *J. Bone Miner. Res.*, 1996, v. 11, № 10, p. 1526–1530.
69. Kroger H., Venesmaa P., Jurvelin J. et al. Bone density at the proximal femur after total hip arthroplasty. *Clin. Orthop.*, 1998, v. 352, p. 66–74.
70. Lynnerup N., Thomsen J. L. and Frohlich B. Intra- and inter-observer variation in histological criteria used in age at death determination based on femoral cortical bone. *Forensic Sci. Int.*, 1998, v. 91, № 3, p. 219–230.
71. Macchiarelli R. and Bondioli L. Linear densitometry and digital image processing of proximal femur radiographs: implications for archaeological and forensic anthropology. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1994, v. 93, № 1, p. 109–123.
72. Mazess R. B. New concepts in bone densitometry. *Pandora*, 1994, v. 6, p. 19–24.
73. Mazess R. B. and Barden H. S. Measurement of bone by dual-photon absorptiometry (DPA) and dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA). *Ann. Chir. Gynaecol.*, 1988, v. 77, p. 197–203.
74. Mazess R. B. and Barden H. S. Bone density in premenopausal women: effects of age, dietary intake, physical activity, smoking and birth-control pills. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1991, v. 53, p. 132–142.
75. Walker R. A. and Lovejoy C. O. Radiographic changes in the clavicle and proximal femur and their use in the determination of skeletal age at death. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1985, v. 68, № 1, p. 67–78.
76. Warming L., Hassager C. and Christiansen C. Changes in bone mineral density with age in men and women: a longitudinal study. *Osteoporos. Int.*, 2002, v. 13, № 2, p. 105–112.

Поступила в редакцию 14.04.2012

Получена после доработки 18.06.2013

BONE MINERAL DENSITY AS A SIGN OF AGE-RELATED INVOLUTION OF HUMAN BONES

M. A. Yurchenko, G. V. Zolotenkova, Yu. I. Pigolkin and M. V. Fedulova

This review of the literature analyzes the current state of a problem of application of various morphological methods for the investigation of age-related involution of human bone system and their use in the course of forensic personality identification. The difficulties of the application of the available methods of quantitative morphology in determination of biological age, are emphasized. The possibilities of the practical use of radiological methods to study the skeleton, including the determination of the bone mineral density as an indicator of age-related changes of bone tissue, are analyzed. An ambiguity of the research results obtained is noted, and the possible reasons for and the factors contributing to the results variability are considered. It is concluded that the application of computer tomogram densitometry to the various regions of the bone skeleton in complex with some other methods, is promising for the determination of age interval in forensic identification examinations.

Key words: *bone tissue, age-related changes, mineral saturation, densitometry, personality identification*

Department of Forensic Medicine, I. M. Sechenov First Moscow Medical University and Russian Center of Forensic Examination, Moscow