



ИЗБРАННЫЕ ЛЕКЦИИ ПО ХИРУРГИИ ПОЗВОНОЧНИКА





ПОЧЕМУ ПОЛНОЕ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЕ СКЕЛЕТА ПОЛЕЗНО В ЛЕЧЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА?

Ж. Дюбуссе

Национальная медицинская академия, Париж, Франция

В лекции подробно рассматриваются вопросы, связанные с системой EOS, позволяющей сканировать скелет больного от головы до стоп в двух стандартных проекциях рентгеновскими лучами, перпендикулярными достигаемой ими поверхности. При этом снижается радиационная нагрузка в 10 раз по сравнению с рутинной рентгенографией позвоночника. Система EOS уникальна: одновременное 3D-исследование с получением изображения в любой плоскости, включая взгляд с вершины (top view), дает реальную трехмерную оценку состояния позвоночника или его деформации. Далее можно осуществлять измерения во всех плоскостях и во всех направлениях. Для количественной оценки деформации позвоночника в трех плоскостях с помощью EOS разработана программа Vertebral Vector Projection. Принцип — замена каждого позвонка переднезадним вектором, начинающимся дорсально в средней точке между корнями дужек, достигающим спереди средней точки вентральной поверхности тела позвонка и идущим параллельно его краниальной замыкающей пластинке. Благодаря возможностям EOS, разработана формула, основанная на рентгенологических данных — severity index. Для небольших деформаций (менее 15°) учитывают угол Cobb, торсионный индекс дуги, аксиальную ротацию апикального позвонка, межпозвонковую ротацию на верхнем и нижнем концах дуги и апикальный лордоз. Величина индекса варьирует от 0 до 1. Если он не превышает 0,4, то деформация не будет прогрессировать, если превышает 0,6, то деформация будет увеличиваться в 100 % случаев. Геометрическая и механическая персоналифицированная 3D-модель позволяет проводить предоперационное планирование при тяжелых деформациях: помогает в выборе уровня и направления сечения, величины резецируемого угла, моделирования смыкания костных поверхностей в компьютере с получением нового типа выравнивания позвоночника. Визуализирующая система EOS помогает понять различия между выравниванием (статикой) и балансом (динамикой) позвоночного столба.

Ключевые слова: деформация позвоночника, система EOS, трехмерное пространство, 3D-изображение, диагностика.
Для цитирования: Дюбуссе Ж. Почему полное 3D-изображение скелета полезно в лечении деформаций позвоночника? // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16. № 4. С. 84–92.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2019.4.84-92>.

WHY IS A 3D IMAGE OF THE WHOLE SKELETON USEFUL IN TREATING SPINAL DEFORMITIES?

J. Dubousset

Academie Nationale de Medecine, Paris, France

The lecture discusses in detail the issues related to the EOS system, which allows scanning a patient's skeleton from head to feet in two standard projections with x-rays perpendicular to the surface they reach. At the same time, the radiation load is reduced by a factor of 10 compared with routine spinal radiography. The EOS system is unique: simultaneous 3D study with image acquisition in any plane, including a top view, gives a real three-dimensional assessment of the spine or its deformity. Further, it is possible to carry out measurements in all planes and in all directions. To quantify spinal deformity in three planes using EOS, the Vertebral Vector Projection program has been developed. The principle is the replacement of each vertebra with an anteroposterior vector starting dorsally at the midpoint between pedicles, reaching the midpoint of the ventral surface of the vertebral body and running parallel to its cranial end plate. Thanks to the capabilities of EOS, the severity index was developed — a formula based on x-ray data. For small deformities (less than 15°), the Cobb angle, the torsion index of the curve, axial rotation of the apical vertebra, intervertebral rotation at the upper and lower ends of the curve, and apical lordosis are taken into account. The value of the index varies from 0 to 1. If it does not exceed 0.4, the deformity will not progress, and if it exceeds 0.6, the deformity will increase in 100 % of cases. The geometric and mechanical personified 3D model allows preoperative planning for severe deformities: it helps in choosing the level and direction of the section, the magnitude of the resected angle, and in computer modeling of the closure of bone surfaces to obtain a new type of spinal alignment. The EOS imaging system helps to understand the need to distinguish between alignment (statics) and balance (dynamics) of the spinal column.

Key Words: spinal deformity, EOS system, three-dimensional space, 3D image, diagnostics.

Please cite this paper as: Dubousset J. Why is a 3D image of the whole skeleton useful in treating spinal deformities? *Hir. Pozvonoc.* 2019;16(4):84–92. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2019.4.84-92>.

В реальности эта концепция очень стара, но на практике была реализована только после создания так называемой системы EOS (первый вариант датируется 2000 г.). В удачный момент встреча исследователей из трех областей знания, вероятно весьма далеких друг от друга, еще раз продемонстрировала, что совместная работа клиницистов и ученых – лучший путь к прогрессу.

Первая группа – G. Charpak (рис. 1) и его команда, создавшие низкодозный детектор рентгеновского излучения (замена фотонов на электроны), позволяющий получать цифровые изображения с 10-кратно сниженным облучением.

Вторая группа – инженеры-биомеханики из ENSAM (Национальной высшей школы искусств и ремесел) в Париже, в первую очередь – Fr. Lavaste и W. Skalli, создавшие с помощью метода конечных элементов компьютерную и механическую 3D-модели человеческого скелета. Вопросы автоматизации помогали решать J. De Guise из лаборатории исследований изображений и ортопедии в Монреале.

Третья группа – врачи из парижского госпиталя St. Vincent de Paul: радиолог G. Kalifa и ортопед J. Dubousset, предложивший в 1972 г. концепцию тазового позвонка, а в 1975 г. – концепции цепочки баланса и конуса экономии.

Необходимо также напомнить, что в 1977 г. мы совместно с ортопедом H. Graf и инженером-компьютерщиком J. Hecquet работали над получением 3D-реконструкции позвоночника в норме и при сколиозе (рис. 2). Для этого мы с успехом использовали спондилограммы, выполненные в положении пациента стоя в стандартных проекциях – переднезадней и боковой. Нам удалось показать важность оценки формы позвоночного столба, используя взгляд сверху (top view) на нагруженное состояние позвонков, что гораздо ближе к трехмерной реальности в сравнении с 2D-проекциями (тенями), получаемыми при рентгенографии.

Система EOS

Устройство позволяет сканировать скелет больного от головы до стоп в двух стандартных проекциях рентгеновскими лучами, пропускаемыми через устройство для получения пучков параллельных световых лучей (коллиматор) и всегда перпендикулярными достигаемой ими поверхности. Для этого необходимо выполнение двух важных условий (рис. 3):

1) строго определенное положение внутри кабины для исследования – горизонтальный взор с помощью зеркала, перемещаемого на уровень глаз; пальцы обеих рук расположены на щеках, чтобы тени плечевых костей не накладывались на верхнегрудные позвонки; очень небольшое смещение вперед одной стопы относительно другой, чтобы исключить наложение теней нижних конечностей при компьютерной реконструкции и различать симметричные точки правой и левой конечностей;

2) абсолютная неподвижность в течение всего времени сканирования (15–18 с) для предотвращения возникновения артефактов при реконструкции; при наличии специ-

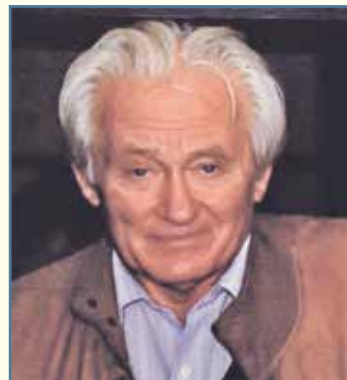


Рис. 1

Georges Charpak (1924–2010), лауреат Нобелевской премии по физике за 1992 г.

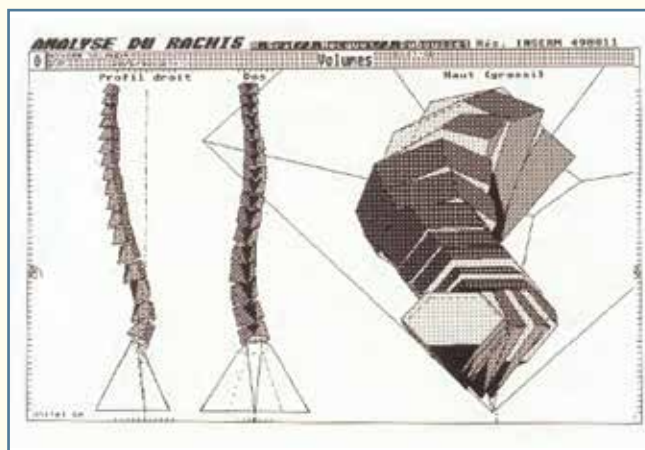


Рис. 2

3D-реконструкция позвоночника в норме и при сколиозе (J. Dubousset, H. Graf, J. Hecquet)

альных требований пациент может сидеть на стуле; в положении стоя возможно использование стабилметрической платформы.

Значительное снижение дозы радиации. Сканирование всего скелета пациента в двух проекциях сопровождается снижением радиационной нагрузки в 10 раз по сравнению с рутинной рентгенографией позвоночника. Компьютер на основе полученной информации реконструирует 3D-модель всего скелета пациента. Если сравнить радиационную нагрузку при КТ-исследовании для получения такой трехмерной реконструкции всего скелета, то выяснится, что при КТ она составит 43 мЗв, а при EOS-обследовании – 0,05 мЗв, то есть в 860 раз меньше. В настоящее время при использовании микродозной системы для исследования скелета в целом мы отмечаем 7-кратное снижение лучевой нагрузки, что существенно с позиции хирурга-ортопеда.

**Рис. 3**

Трехмерное изображение скелета человека, получаемое с помощью EOS-машины

Если дневная естественная радиация составляет 6 мкЗв (63 мкЗв в неделю), то одно EOS-обследование в двух стандартных проекциях равноценно недельной естественной радиации, что в 45 раз меньше, чем одна обычная спондилограмма.

Объем получаемой информации. В первую очередь, мы получаем двухмерные изображения скелета в целом в физиологическом положении стоя, где можно проводить измерения, отталкиваясь от проекции линии гравитации, точно определяя расстояние до референсных точек на суставах, костях скелета во фронтальной и сагиттальной проекциях. Этому не могут помешать какие-либо дисторсии в связи с постоянной ортогональностью рентгеновских лучей относительно экрана. Это особо ценно с точки зрения определения положения позвоночника относительно вертикали, ортогональной к центру площади опоры с использованием референсных точек – зубовидного отростка C_2 или проекции турецкого седла, которое, в свою очередь, располагается близко к центру тяжести головы. Эти снимки очень полезны при определении соотношения нижних конечностей.

Затем мы получаем 3D-реконструкцию всего скелета или его части, например позвоночника, от головы до средней трети нижней конечности с включением всего тазового позвонка с обеими бедренными головками, главными ориентирами для множества измерений, связанных с позвоночником. Появляется возможность сфокусироваться на более ограниченных целях – пояснично-тазовом переходе, тазобедренных суставах в различных положениях (сидение, стояние, наклон), плечевом поясе – то, что в данный момент важно хирургу-ортопеду.

Важность силы тяжести. Она становится очевидной, когда мы сравниваем 3D-реконструкцию поясничного отдела позвоночника, выполненную с помощью КТ в положении

пациента лежа, с 3D-реконструкцией, выполненной с помощью EOS в положении стоя (один и тот же пациент со сколиозом взрослого). Качество обоих изображений будет идентичным, но ротационная дислокация на уровне L_3-L_4 будет более явной и выраженной на EOS-реконструкции, вероятно, за счет вертикального нагружения.

Почему 3D-реконструкция с помощью КТ иногда опасна для детей и молодых взрослых? КТ-изображения дают большие возможности при исследовании поперечных срезов тела на единичном уровне, но для понимания трехмерности деформации позвоночника необходимы множественные последовательные срезы на различных уровнях. Такое исследование может быть допустимым при локальной патологии типа врожденного полупозвонка для планирования операции резекции. Но КТ-исследование всего позвоночного столба, даже при получении качественных изображений (не всегда полезных и для пациента и для хирурга), неприемлемо для ребенка и молодого взрослого больного из-за риска индуцировать развитие злокачественной опухоли, что подтверждается многими авторами.

Явный рост частоты рака молочной железы отмечен у больных сколиозом после многочисленных рентгенограмм грудной клетки.

В датской публикации (2016) приведены данные о том, что у больных сколиозом через 25 лет после прекращения рентгеновских исследований опухоли грудной железы и эндометрия выявлены в пять раз чаще, чем в общей популяции.

Частота развития онкологических заболеваний у взрослых возрастает в 1,62 раза после единичного КТ-исследования туловища в детстве. По данным австралийцев, обследовавших 680 000 детей и подростков, единичное КТ-исследование на 24 % повышает риск развития опухоли органов половой сферы во взрослом возрасте. Риск лейкемии возрастает в 3,18 раза при получении дозы облучения от 5 до 30 мГу. Риск опухолей головного мозга возрастает в 2,82 раза при суммарной дозе в пределах 50–74 мГу.

Некоторые аспекты практического применения системы EOS

Патология костей и суставов верхней и нижней конечностей. EOS заменяет многие классические методики обследования (например, пангонограммы), которые остаются только техниками проекции тени, но без увеличения или искажения за счет ортогональности хода лучей. EOS заменяет и КТ-исследование, так как дает возможность оценить ротационные нарушения, разницу в длине кости и т.д. EOS – это точная оценка положения элементов тазобедренного сустава, глубины вертлужной впадины. Это трехмерное исследование коленного, голеностопного, плечевого, локтевого, лучезапястного суставов, дополнительные возможности по изучению их кинематики и, разумеется, самое многообразное приложение в сфере эндопротезирования на любом

уровне – от предоперационного планирования до послеоперационной оценки результата.

Уникальная система для изучения позвоночного столба. Одновременное 3D-исследование с получением изображения в любой плоскости, включая так называемый взгляд с вершины, дает реальную трехмерную оценку состояния позвоночника или его деформации (рис. 4). Этот взгляд сверху уникален, поскольку это проекция на горизонтальную плоскость каждого позвонка и его элементов, каждый из которых имеет свою 3D-позицию в пространстве относительно линии нагружения тела больного. Далее мы можем осуществлять измерения во всех плоскостях и во всех направлениях – сагиттальной, фронтальной и горизонтальной. Чтобы облегчить идентификацию позвонков, можно каждому отделу присвоить свой цвет: голубой для грудного отдела, красный – для поясничного, белый – для шейного. Мы должны учиться читать эти проекции, не жалеть времени на измерение фронтальных и сагиттальных отклонений, угла и величины отстояния от линии нагружения, а также аксиальной ротации, включая межпозвонковую. Конечно, множественные измерения обременительны. С другой стороны, хирургу важно оценить состояние блокируемой и неблокируемой частей позвоночного столба и дать им 3D-оценку. На обычных послеоперационных рентгенограммах наши глаза обращены, в первую очередь, на имплантат, при этом состояние неблокированных отделов оценить бывает непросто, а с помощью EOS их реконструкция дает большую информацию.

Для упрощения анализа, визуализации, количественной оценки деформации позвоночника в трех плоскостях (в первую очередь, в горизонтальной) с помощью EOS была разработана программа Vertebral Vector Projection. Это сделал венгерский ортопед Tamas Illes с помощью компьютерного инженера Szabolc Somoskeoy. Принцип – замена каждого позвонка переднезадним вектором, начинающимся дорсально в средней точке между корнями дужек, достигающим спереди средней точки вентральной поверхности тела позвонка и идущим параллельно его краниальной замыкающей пластинке. Длина вектора, таким образом, определяется длиной тела позвонка. Во фронтальной плоскости без ротации этот вектор представлен точкой, но по мере увеличения аксиальной ротации его длина увеличивается, достигая максимума, когда аксиальная ротация составляет 90° . В свою очередь, в сагиттальной плоскости вектор сохраняет полную длину, если аксиальная ротация равна 0, превращаясь в точку, если ротация достигает 90° . Естественно, в горизонтальной плоскости длина вектора не меняется в зависимости от аксиальной ротации, а угол между ним и референсной линией прямо пропорционален латеральному смещению. Поэтому анализ положения этого вектора легче всего проводить, используя аксиальную проекцию – с вершины позвоночной колонны (рис. 5). Так можно с одного взгляда оценить до- и послеоперационное состояние позвоночного столба при сколиозе. Далее мы можем измерить поверхность, создаваемую связыванием

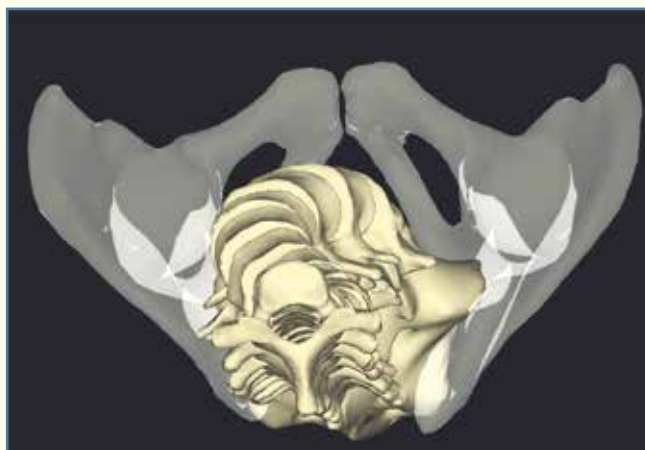


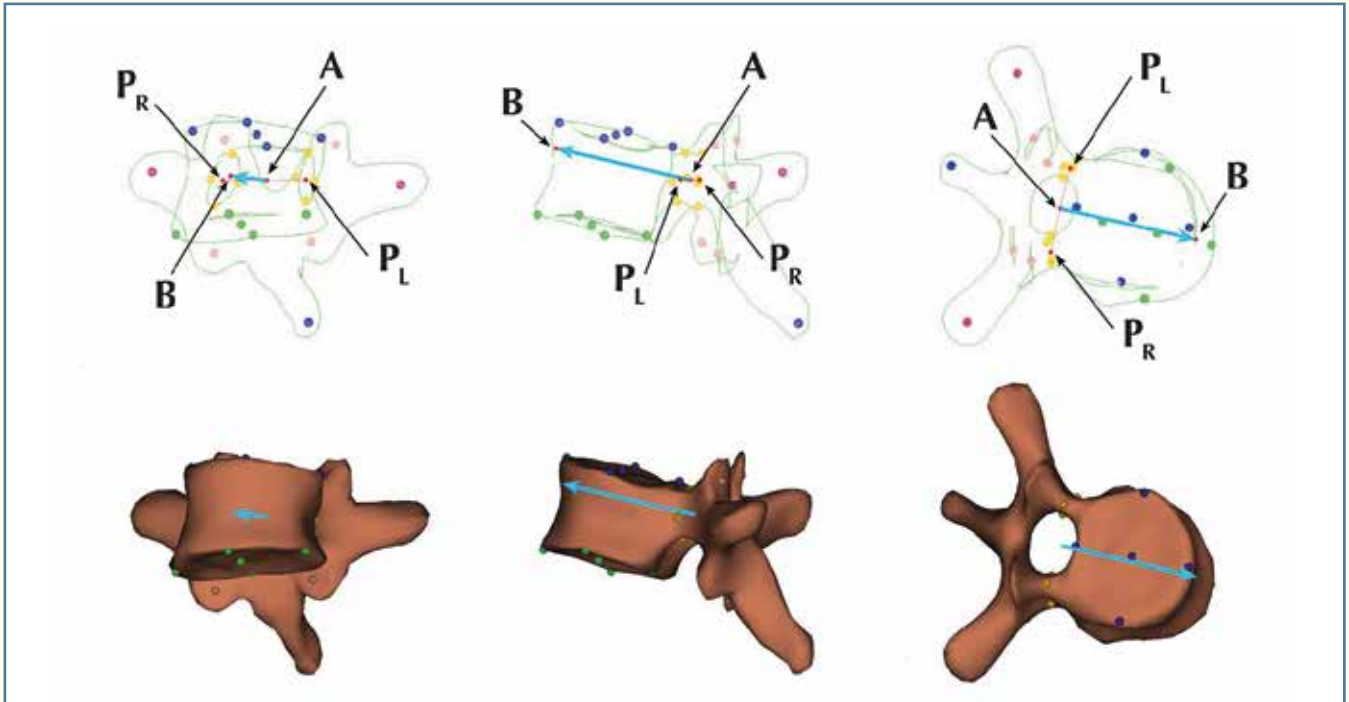
Рис. 4

Тор view дает реальную трехмерную оценку состояния позвоночника и его деформации

проекций стартовых точек по отношению к референсным линиям каждой дуги, и сравнить до- и послеоперационное состояние для определения процента коррекции деформации, потому что в нормальном позвоночнике поверхность равна нулю. С другой стороны, благодаря возможности получения аксиального взгляда, мы можем определить разницу в направлении векторов двух позвонков и получить точную локализацию перехода между различными сегментами деформации. В других обстоятельствах для выбора нижнего инструментированного позвонка, благодаря возможности исследовать межпозвонковую ротацию в горизонтальной плоскости, определяется нестабильный уровень и обычно включается в зону инструментального блока для предотвращения вторичных изменений, дисбаланса и рецидива болевого синдрома.

Благодаря исследованию межпозвонковой ротации, легко найти в сколиотическом позвоночнике нестабильный позвонок и при консервативном лечении гипсовым корсетом или ортезом, особенно при поясничной локализации дуги, определить эту точку, чтобы как можно раньше начать лечение и предотвратить ротационную дислокацию (межпозвонковая ротация в противоположных направлениях на уровне двух последовательных дисков), что полностью зависит от состояния мягких тканей позвоночника.

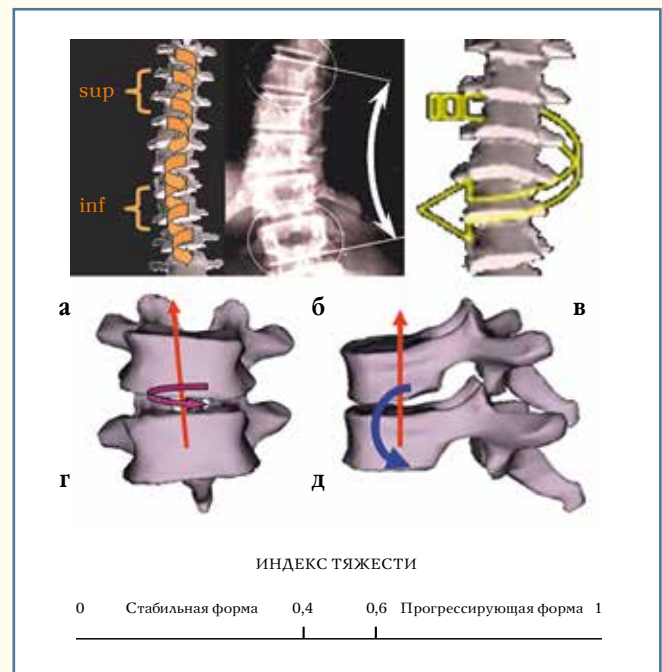
Прогноз прогрессирования деформации при первом осмотре: индекс тяжести. Классическая стратегия определения лечебной тактики при идиопатическом сколиозе состоит в следующем: после выявления структуральной дуги с небольшим углом Cobb рекомендуется ждать, пока новые рентгенограммы не покажут прогрессирования деформации. Для меня это – нонсенс, потому что с прогрессированием деформации все мягкие ткани (диски, связки и т.д.) подвергаются патологическим изменениям по мере увеличения клиновидности тел позвонков и нарастания дегенеративных изменений в истинных суставах. Это под-

**Рис. 5**

Количественная 3D-оценка деформации позвоночника с помощью EOS-технологии (позвонковый вектор)

толкнуло нашу команду к попытке разработки надежного маркера риска прогрессирования деформации, по возможности применимого при первом визите и первом обследовании пациента. Благодаря возможностям EOS, инженеры из ENSAM разработали формулу, основанную на рентгенологических данных, особенно при исследовании в горизонтальной плоскости, и назвали его severity index (индекс тяжести). Для небольших деформаций (менее 15°) учитывают угол Cobb, торсионный индекс дуги, аксиальную ротацию апикального позвонка, межпозвонковую ротацию на верхнем и нижнем концах дуги и апикальный лордоз. Величина индекса варьирует от 0 до 1. Если он не превышает 0,4, то деформация не будет прогрессировать, если превышает 0,6, то деформация будет увеличиваться в 100 % случаев (рис. 6). В нашей группе из 77 пациентов у 71 (92 %) индекс показал прогрессирование, у всех оно было констатировано. Обладая такой информацией, мы полагаем, что ожидание прогрессирования – это просто потеря времени, а лечение нужно начинать как можно быстрее, даже если угол Cobb равен 10°, нужно использовать при этом ночной корсет, который дает гиперкоррекцию деформации и полную коррекцию торсии.

В дополнение к 3D-реконструкции позвоночника, система визуализации скелета EOS реконструирует грудную клетку, что дает целый ряд новых возможностей. Реконструкция грудной клетки (ребер, грудины и соответствующих хрящей) требует специального программного обеспечения, но демонстрирует высокую степень достоверности,

**Рис. 6**

Определение индекса тяжести деформации: учитываются торсионный индекс (а), угол Cobb (б), апикальная аксиальная ротация (в), межпозвонковая ротация на концах дуги (г), апикальный лордоз (д)

даже при значительных деформациях. Появляется возможность измерения грудной клетки в трех плоскостях, иногда с простым линейным моделированием положения ребер в пространстве. Это дает возможность надежного визуального исследования, например последствий воздействия корсета на форму ребер. Были проведены измерения объема гемитораксов, которые, при сравнении с данными КТ, показали высокий уровень соответствия. С помощью этой методики также легко провести измерение индекса спинальной пенетрации (объема, занимаемого в грудной клетке позвоночными структурами, – 10 % в норме, 25 % при умеренной сколиотической деформации, 50 % при тяжелом сколиозе; рис. 7). Грудная стенка и трехмерный объем грудной клетки также измеряются с большой точностью – достигается корреляция с точностью до 0,001 между объемом и легочными функциональными тестами. Очень интересно использовать систему EOS в проекции top view при оценке формы позвоночника и грудной клетки до и после корсетотерапии. Оценка эффективности корсетотерапии применительно к форме позвоночника и грудной клетки и ее объему – важный момент для изготовителей корсетов, поскольку это дает возможность исправить корсет немедленно, если результат оказывается неоптимальным.

О созревании костных структур и мягких тканей (диски, связки, капсулы, апоневрозы почти игнорируются). Много исследований посвящено оценке степени созревания костей и хрящей от детского до взрослого возраста. Появилось множество атласов по оценке костного возраста по руке, локтевому, плечевому суставам, тазу, позвоночнику. Эти данные сопоставлялись со стадиями полового развития и хронологическим возрастом. Все сопоставления были вполне достоверны, как отмечено в работах Alain Dimoglio, Federico Canavese и James Sanders. Как это ни странно, очень мало или почти ничего не написано о созревании на протяжении жизни мягких тканей (капсул дисков, связок, апоневрозов и даже мышц), анатомически и функционально связанных с позвоночником! Мы хорошо знаем, как они меняются с возрастом, как в них формируются дегенеративные изменения, но дать определение «завершению роста» не так уж легко, требуется дополнить картину многочисленными клиническими симптомами. Когда, например, корсетотерапия прерывается, всегда остается много непонятого. Так, принято считать, что при достижении степени 4 или 5 теста Risser рост в высоту закончен, можно завершать корсетотерапию. В реальности ряд исследователей (Stephane Wolff из Франции в 80-х гг. прошлого века и Toru Matuyama из Японии в 2015 г.) показали, что корсетотерапия, начатая при степени 4 или 5 по Risser, особенно при поясничных деформациях, может уменьшить величину дуги на 5° по Cobb и удерживать этот результат в течение трех лет. Для меня это связано каким-то образом с созреванием мягких тканей, коллагена, соединительных и эластических структур. Применимо ли понятие тенсегрити для позвоночных структур? Тенсегрити (напряженно-связанная структура) – это достаточное сдавление/растяже-

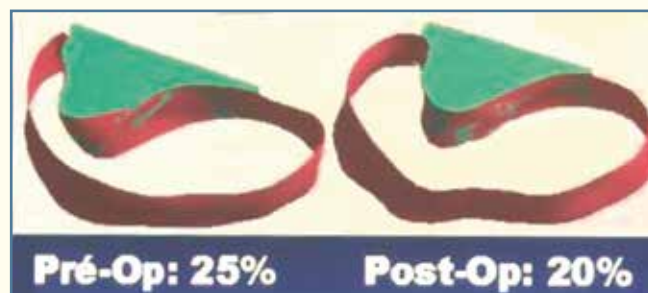


Рис. 7

Индекс спинальной пенетрации – объем, занимаемый в грудной клетке позвоночными структурами

ние мобильных элементов, позволяющих достичь стабильности. Это функция белых структур (апоневрозов, связок), как сказал Francois Bonnel, придававший автоматическому высвобождению энергии очень большое значение в поддержании положения тела и в совершении автоматических движений. Это еще одна причина напомнить о важности раннего выявления, даже при самых легких деформациях, начальных моментов ротационной дислокации (межпозвонковой ротации в противоположные стороны на уровне двух последовательных дисков).

Система визуализации скелета EOS в повседневной практике, к сожалению, часто используется как метод исследования в 2D. Почему? Потому что трехмерная реконструкция еще не всеми взята на вооружение и требует времени, чтобы быть понятой. Тем не менее в исследовательских лабораториях разрабатываются многочисленные варианты клинического приложения метода.

Геометрическая и механическая персонафицированная модель симуляции вмешательства. При использовании инструментария CD после введения данных, включая мобильность позвоночника, определяемую с помощью функциональных спондилограмм, симулируется укладка пациента на тракционном операционном столе. При правостороннем грудном сколиозе сначала имплантируется стержень на вогнутой стороне, проводится деротирующий маневр, потом – стержень на выпуклой стороне. Для левостороннего поясничного сколиоза – сначала стержень на выпуклой стороне, ротация его, затем – стержень на вогнутой стороне. Мы получали результаты с высокой степенью достоверности в плане соответствия реальной клинической ситуации. Мы можем симулировать альтернативные стратегии, меняя в компьютере уровни верхнего и нижнего инструментированных позвонков и проверяя результат во фронтальной и сагиттальной плоскостях, как и выравнивание сегментов неинструментированных отделов позвоночника. Это позволяет избрать наилучшую стратегию для каждого конкретного больного.

Предоперационное планирование при тяжелых деформациях, требующих радикальных вмешательств (транспедикулярная остеотомия), и послеоперационная оценка

результата. Начинаем с создания трехмерной EOS-модели позвоночника, выбираем уровень и направление сечения, величину резецируемого угла, моделируем смыкание костных поверхностей в компьютере с получением нового типа выравнивания позвоночника. Эта виртуальная операция может быть проведена много раз, если хирург не удовлетворен получаемым результатом. Проекция со стороны вершины позвоночника (top view) также полезна и используется до и после операции, но баланс туловища может быть оценен только в клинике при наличии движений и функции.

Визуализирующая система EOS помогает понять необходимость различать выравнивание (статику) и баланс (динамику) позвоночного столба. Совмещение статического и динамического анализов путем совмещения EOS-изображения и наружных маркеров для анализа движений – хороший исследовательский инструмент. Для этого EOS-изображение совмещают с наружным анализом в статике и динамике с помощью 3D-маркеров, приклеенных к коже туловища в референсных точках и фиксируемых шестью видеокамерами в точно откалиброванной зоне.

Результаты сравнительного изучения хирургической коррекции идиопатического сколиоза инструментарием CD в основной и контрольной группах (по 30 больных одного возраста в каждой) опубликованы в 2006 г. (Spine. 2006; May 20, 31: E359–366). Нам удалось показать, что тазовый позвонок – важный компенсаторный фактор автоматической адаптации большого к новым условиям статики и динамики. Более неожиданным оказалось то, что в 50 % случаев выявлено увеличение угла наклона таза до 18° (в 4 случаях с 5 до 18°, в 6 – с 7 до 14°, в 11 – без изменений). Вывод очевиден – тазовый позвонок является важным фактором автоматической компенсации в положении пациента стоя и в динамике. Выполнение этих измерений на регулярной основе с равнозначными интервалами позволяет оценить скорость развития изменений и возможности компенсации у пожилых пациентов. Например, при ежегодном исследовании сагиттального баланса и возможностей полной экстензии в позвоночнике становится очевидным, что с каждым годом ограничение экстензии нарастает, несмотря на использование корсета или физиотерапии. Может возникнуть вопрос о хирургическом лечении (при наличии показаний), пока не развились серьезные нарушения функции кардиореспираторной системы.

Такое обследование в лаборатории с применением современных методов 3D-оценки подходит для очень сложных случаев и особых пациентов. Однако в повседневной клинической практике мы нуждаемся в более простых, но надежных методах обследования. Лично я использую четыре простых теста с хронометром для учета времени, необходимого для выполнения следующих упражнений:

- встать со стула и пройти вперед пять метров, затем вернуться назад спиной вперед;
- подняться на три ступени и вернуться назад;
- возможно, самое дискриминирующее упражнение – сесть на корточки и подняться;

– пройти несколько метров, разговаривая по телефону или считая в обратном порядке от 100 до 90 (этот вариант помогает оценить наличие когнитивных нарушений).

С помощью этих простых инструментов мы можем оценить не только динамику функциональных возможностей пожилого пациента, но также функциональный результат оперативного лечения. С моей точки зрения, эти тесты более объективны и достоверны, чем анкетирование.

Применение системы EOS для исследования массы тела. Когда мы говорим и размышляем о статике и динамике человеческого тела, мы иногда слишком увлекаемся проецируемыми углами, даже при работе с EOS, немного забывая при этом, что при рассмотрении тела человека в целом необходимо думать о его массе. Именно поэтому после того, как мы встроили в систему стабилметрическую платформу, оценка мягких тканей, окружающих скелет, путем осмотра и измерения стала частью системы EOS. Автоматическая детекция и 3D-реконструкция наружных контуров производятся вместе с позиционированием центра тяжести каждого сегмента позвоночника, таким образом, автоматическая персонализированная барицентрометрия может быть осуществлена для каждого сегмента позвоночника. Сравнение данных стабилметрии и EOS показало наличие разницы от 1 мм до 1 см.

Сопоставление общей картины скелета с мягкотканной оболочкой туловища, поверхностной топографией или оптической картинкой демонстрирует вполне приемлемую корреляцию. Таким образом, возможно, однажды простая смартфонная картинка станет удовлетворительным неинвазивным методом послеоперационного наблюдения, исключая необходимость рентгенографии.

Важность проекции на горизонтальную плоскость для оценки выравнивания туловища и баланса. Isidor Liebermann из Далласа попытался оценить количественно концепцию конуса баланса и смог измерить смещение проекции на пол центра гравитации тела в положении пациента стоя без движения. В реальности было ясно, что эта проекция постоянно перемещается справа налево и чаще спереди назад для достижения баланса, описанного как «стабильность внутри движения». Проведенная параллельно накожная электромиография показывает важную роль движений таза и ягодичных мышц в контроле функции стояния. На другой стороне земного шара японец Kazuhiro Hazegawa показал легкий путь визуализации и цифровизации этого положения тела путем проецирования всего тела на горизонтальную плоскость с top view, включая голову. Возможно, в близком будущем такой тип подхода заменит измерение угла Cobb при деформациях позвоночника, который, по сути, отражает лишь его коллапс.

Многие другие возможности системы, в основном при лабораторных исследованиях. Механические модели, анатомические препараты, подвергнутые изучению системой EOS и 3D-реконструкцией, могут сравниваться с данными клинических исследований. Это может быть сделано, например, при исследовании шейного отдела позвоночника

(динамическое исследование – флексия, экстензия, ротация и т.д.) или тазобедренного сустава до и после операции эндопротезирования. Попытка связать находки и результаты измерений с данными МРТ позволяет персонализировать 3D-исследование мышц с использованием различных объемных индексов, изотропного или эластического индекса, объемной оценки сократительных, несократительных тканей, жировой ткани и т.д. Другое приложение – определение индекса костной плотности, необходимого при исследовании на остеопороз (риск перелома тела позвонка или шейки бедра у пожилых людей).

Адрес для переписки:

Dubousset Jean
23 bis rue des Cordeliers, Paris, 75013, France,
jean.dubousset@wanadoo.fr

Жан Дюбуссе, профессор детской ортопедии, член Национальной академии медицины, 23 bis rue des Cordeliers, 75013, Paris, France, ORCID: 0000-0002-4000-5450, jean.dubousset@wanadoo.fr.

Jean Dubousset, Professor of Pediatric Orthopaedics, Member of the French National Academy of Medicine, 23 bis rue des Cordeliers, 75013, Paris, France, ORCID: 0000-0002-4000-5450, jean.dubousset@wanadoo.fr.

Заключение

Визуализирующая система EOS с низкой дозой облучения разработана для исследования человеческого тела в трехмерном пространстве, особенно в горизонтальной плоскости в физиологическом положении стоя. Она дает огромные исследовательские возможности. К сожалению, во всем мире этот инструмент используется для оценки позвоночника только в двух плоскостях, и мы надеемся, что в ближайшем будущем медицинское сообщество по достоинству оценит систему EOS и начнет использовать ее для 3D-реконструкции человеческого скелета.

Перевод М.В. Михайловского

Статья поступила в редакцию 06.11.2019

Подписано в печать 11.11.2019

Received 06.11.2019

Passed for printing 11.11.2019