



ИЗБРАННЫЕ ЛЕКЦИИ ПО ХИРУРГИИ ПОЗВОНОЧНИКА





3D-АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СКОЛИОТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И 3D-ЦЕПЬ БАЛАНСА ПАЦИЕНТА СО СКОЛИОЗОМ

Ж. Дюбуссе^{1, 2}

¹National Academy of Medicine, Paris, France

²Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна

В лекции изложены взгляды на процесс механогенеза сколиотической деформации позвоночника и участие в нем внепозвоночных отделов двигательного аппарата.

Ключевые слова: сколиоз, трехмерная деформация позвоночника, 3D-баланс туловища человека.

3D ANALYSIS OF SCOLIOTIC DEFORMITY DEVELOPMENT AND 3D CHAIN OF BALANCE IN A SCOLIOSIS PATIENT
J. Dubousset

The lecture presents the views on the process of mechanical origin of scoliotic deformity of the spine and on a contribution of extraspinal departments of the locomotor system to this process.

Key Words: scoliosis, 3D deformity of the spine, 3D balance of a human trunk.

Для цитирования: Дюбуссе Ж. 3D-анализ развития сколиотической деформации и 3D-цепь баланса пациента со сколиозом // Хирургия позвоночника. 2016. Т. 13. № 3. С. 108–113.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.3.108-113>.

Please cite this paper as: Dubousset J. 3D analysis of scoliotic deformity development and 3D chain of balance in a scoliosis patient. Hir. Pozvonoc. 2016;13(3):108–113. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.3.108-113>.

Любая деформация позвоночника имеет две особенности трехмерного формирования и мобильности:

1) на уровне позвоночника в целом – движение и смещение одного позвонка относительно другого, то есть патологическая анатомия деформации и ее прогрессирования;

2) на уровне отдельно взятого тела позвонка в 3D-пространстве – как результат влияния деформации позвоночника на организацию и мобильность тела позвонка.

3D-анализ сколиотической деформации

Торсия. Когда мы исследуем различные препараты сколиотического позвоночника, становится очевидным, что базовая трехмерная деформация, демонстрирующая торсию, становится наиболее понятной при одновременном взгляде на нее в переднезадней, боковой и аксиальной (со стороны вершины или основания позвоночного столба) проекциях. Сравнение с рентгенограммами этого препарата дает ясное представление о том, что рентгеновские лучи демонстрируют лишь тень, одноплоскостную проекцию трехмерной реальности. Так называемый угол Cobb показывает только коллапс позвоночника и ничего более. В 1976 г. мы с Henry Graf и Jerome Nescquet создали

первую схематическую компьютерную 3D-реконструкцию сколиотического позвоночника, используя две ортогональных рентгеновских проекции. Начиная с одних и тех же точек отсчета на позвонках, мы создали сначала линейную, потом простую плоскую модель и, наконец, объемную модель каждого позвонка с реконструкцией во фронтальной, сагиттальной и горизонтальной плоскостях. Эти изображения практически повторяли препараты, которые мы держали в руках, в первую очередь – за счет ясной визуализации торсии.

Как уже было описано многими авторами (Shaw, Adams, Somerville, Roaf и позднее – Pierre Stagnara), деформация в реальности представляет собою торсионно-аксиальную ротацию. Невозможно поместить деформацию позвоночника в одну плоскость – каждый позвонок, каждая молекула кости и мягких тканей деформированы за счет скручивания (twisted). Поэтому в сколиотической деформации существует бесчисленное количество плоскостей и осей (рис. 1). Для инженеров-биомехаников это – формирование спиралевидных осей. Это было наиболее очевидно при анализе инфантильных сколиотических деформаций (начало и развитие в возрасте менее 3 лет), которые, с клинической точки зрения, неоднородны, так как могут протекать доброкачественно и спонтанно исчезать либо прогрессировать

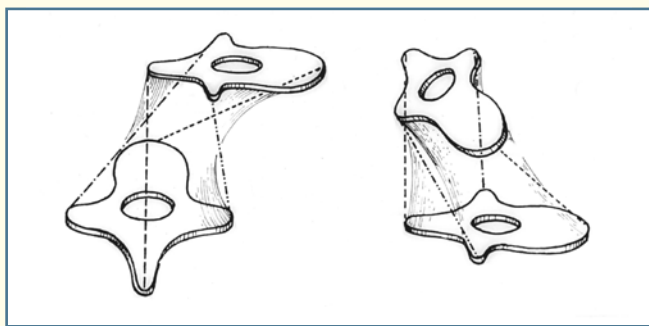


Рис. 1

Торсионно-аксиальная ротация при сколиозе: бесконечное множество плоскостей и осей

с большой скоростью, до развития самых тяжелых форм (malignant group по Min Mehta).

Аксиальная проекция созданной реконструкции оказалась наиболее впечатляющей и дала возможность классифицировать деформации с точки зрения анатомии и прогноза прогрессирования, с выделением трех типов: 1) спонтанно и быстро разрешающиеся до состояния нормы; 2) доброкачественно прогрессирующие (термин Min Mehta) деформации, достигающие 70° по Cobb с выраженной прогрессирующей апикальной торсией в аксиальной проекции, но способные быть раскрученными и полностью устраненными соответствующим лечением, а без такового – прогрессирующие до тяжелых форм; 3) злокачественно прогрессирующие сколиозы (термин Min Mehta) с грубой апикальной торсией, захватывающей небольшое количество позвонков, и к концу периода роста представляющие собой крайне тяжелые деформации, абсолютно не поддающиеся консервативному лечению и мало толерантные хирургической коррекции (рис. 2). Я представил это исследование на митинге SRS в Чикаго в 1980 г., но не нашел понимания коллег, только инженер Shultz счел нужным подойти и обсудить проблему.

Торсия и противоторсия. Для единичной дуги. Прогрессирование торсии сопровождается на уровне межпозвонкового диска нарастающей экспульсией пульпозного ядра в направлении выпуклости деформации и усилением клиновидности тел соседних позвонков, что характерно для структурных сколиозов (рис. 3). Этим можно объяснить то обстоятельство, что пульпозное ядро играет роль запора при коррекции сколиоза, потому что при развитии деформации кости ядро уже не может сместиться в сторону вогнутости дуги, поскольку там уже нет для этого необходимого пространства, и апикальная зона дуги становится ригидной. Именно поэтому вентральное вмешательство (release), включающее иссечение фиброзного кольца и удаление ядра, позволяет получить необходимую мобильность для коррекции сколиоза.

Один из путей понимания механизма торсии – в объяснении формирования феномена коленчатого вала (crankshaft phenomenon). Дорсальный спондилодез, выпол-

ненный по поводу сколиоза у больного с незавершенным ростом скелета, формирует запор для группы деформированных и ротированных позвонков, блокируя локальный рост их дорсальных отделов в зоне операции. Если позвоночник был прямым, а дорсальный спондилодез – симметричным, продолжение роста передних отделов позвоночника приведет к формированию чистого лордоза. Но при сколиозе позвонки уже ротированы, а продолжающийся передний рост усиливает скручивание, дорсальный блок становится точкой вращения, вокруг которой поворачивается позвоночник подобно коленчатому валу автомобиля. Это наиболее заметно при взгляде на позвоночник по его вертикальной оси, демонстрирующей изменения в горизонтальной плоскости.

Для деформированного позвоночника в целом ориентация в пространстве последовательно расположенных дуг образует последовательность торсии и противоторсии. Это особенно заметно при спонтанной эволюции или прогрессировании сколиотической деформации и последовательном формировании грудной, затем поясничной дуги, а иногда пояснично-крестцовой или тазовой, причем каждая из них развивается в соответствии с принципами 3D-баланса – одна в одном направлении (вправо), следующая в противоположном (влево) для достижения так называемого равновесия. Естественно, это происходит в трех плоскостях пространства. Типичный случай такой последовательности торсии и противоторсии – ротационная дислокация позвоночника с кифозом, расположенным между двумя лордосколиотическими сегментами позвоночника. Этот переходный феномен может существовать на любом уровне позвоночника.

3D-изображение сколиотической деформации

Классический способ получения трехмерного изображения – КТ. Она осуществляется путем выполнения множественных рентгеновских срезов и вполне приемлема для локального исследования позвоночного столба. Для исследования позвоночника в целом метод не годится, особенно у детей из-за массивной лучевой нагрузки, потенциально вредной для здоровья.

В связи с этим мы разработали метод компьютерной 3D-реконструкции всего позвоночника, включая таз, используя две ортогональные калиброванные рентгенограммы, выполненные в положении пациента стоя в стандартных проекциях (первые эксперименты с участием Н. Graf & G. Несquet проведены еще в 70-е гг.). Такая стереорентгенография дала великолепные высокоточные результаты, демонстрируя базовую сколиотическую деформацию (трансляция-ротация) со спиралевидной осью. С 2000 г. мы располагаем так называемой малодозной EOS-установкой, простой в управлении и позволяющей получать точную 3D-реконструкцию всего скелета в положении стоя. Это разработка группы инженеров и физиков под руководством нобелевского лауреата Georges Charpak, специали-

**Рис. 2**

Возрастная классификация инфантильных сколиозов – от лучшего к худшему:

а – спонтанное излечение;

б – доброкачественное прогрессирование;

в – злокачественное прогрессирование;

г – трехмерность позвоночника в аксиальной проекции

стов по биомеханике из ENSAM (Высшей национальной школы искусств и ремесел) и клиницистов из парижского госпиталя St. Vincent de Paul. Получаемые изображения отличаются высокой степенью точности и информативности, а лучевая нагрузка при их получении в 860 раз ниже, чем при использовании рутинной КТ. Ортогональные плоскостные изображения позвоночника дают много информации, но трехмерная аксиальная реконструкция уникальна и позволяет дать неизмеримо большее количество данных о форме и положении позвоночного столба при использовании гравитационной оси в качестве точки отсчета. Метод очень полезен при изучении деформаций позвоночника у детей, подростков и у пожилых людей с характерными для них возрастными изменениями скелета.

Влияние деформации позвоночника на мобильность тела

Нормальный позвоночник имеет соответствующую норме форму во всех плоскостях. Его отделы соединены в положении трехмерного равновесия, а движения совершаются вокруг линии гравитационной оси, являющейся, в свою очередь, ортогональной по отношению к полигональному центру опоры. Следовательно, в этой ситуации мы можем рассчитывать на фронтальный, сагиттальный и горизонтальный балансы. В 1975 г. мы ввели понятие «конус экономии» для положения тела стоя, отталкиваясь от концепции «цепочка баланса», куда последовательно, начиная с полигональной опоры, входят скелет нижних конечностей и таз (который в 1972 г. я назвал *pelvic vertebra*), элементы скелета позвоночника и голова (*cephalic vertebra*). Необходимо понимать, что с увеличением объема движений вокруг оси гравитации над полигональной зоной опоры малый конус их пространственных границ превращается в большой. Когда баланс туловища пациента находится в пределах малого конуса, мышечное поддерживающее усилие минимально (экономия в данном случае означает уменьшение мышечного усилия). С расширением конуса расход мышечной энергии нарастает.

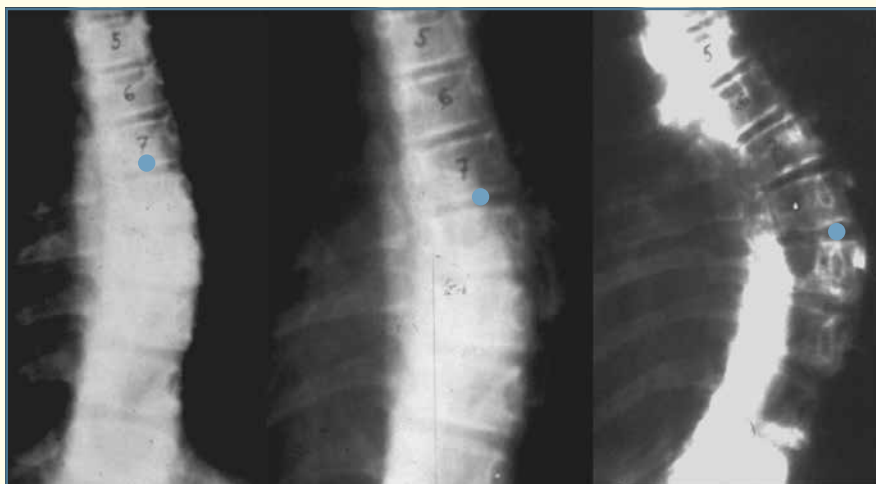


Рис. 3

Структурализация межпозвонковых дисков: прогрессирующая экспульсия пульпозного ядра в направлении выпуклости дуги и прогрессирующая клиновидность тел позвонков

Цепочка баланса необходима в норме и при развитии патологии, в положении стоя и сидя, в статике и в динамике. Необходимо отметить стратегическую роль *pelvic vertebra* (рис. 4) в этой цепочке, особенно при формировании компенсаторных реакций при патологии скелета выше таза (позвоночник) или ниже (нижние конечности). Необходимо также помнить, что одним из предназначений достижения идеального баланса является сохранение горизонтального взгляда.

Концепция cephalic vertebra. Масса головы взрослого человека варьирует от 4,5 до 5,5 кг. Три ее плоскости симметрии (фронтальная, сагиттальная, горизонтальная) соединяются в точке, расположенной на средней линии в области крыши третьего желудочка

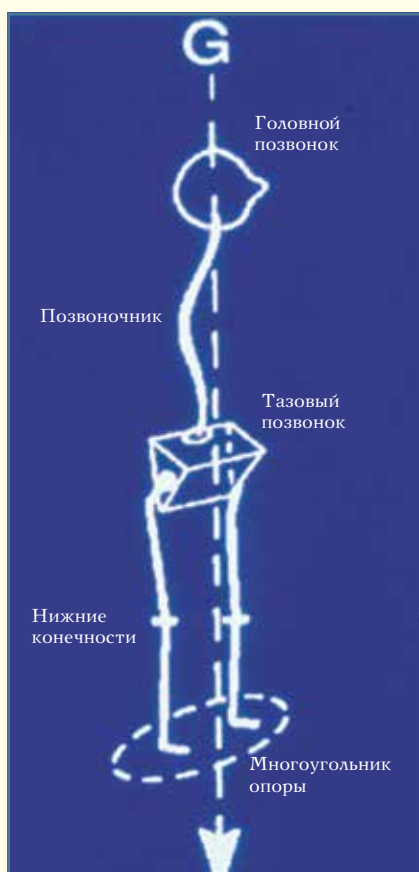


Рис. 4

Концепция тазового позвонка как вставочной кости: тазовый позвонок, расположенный в середине, – стратегический уровень этой цепи

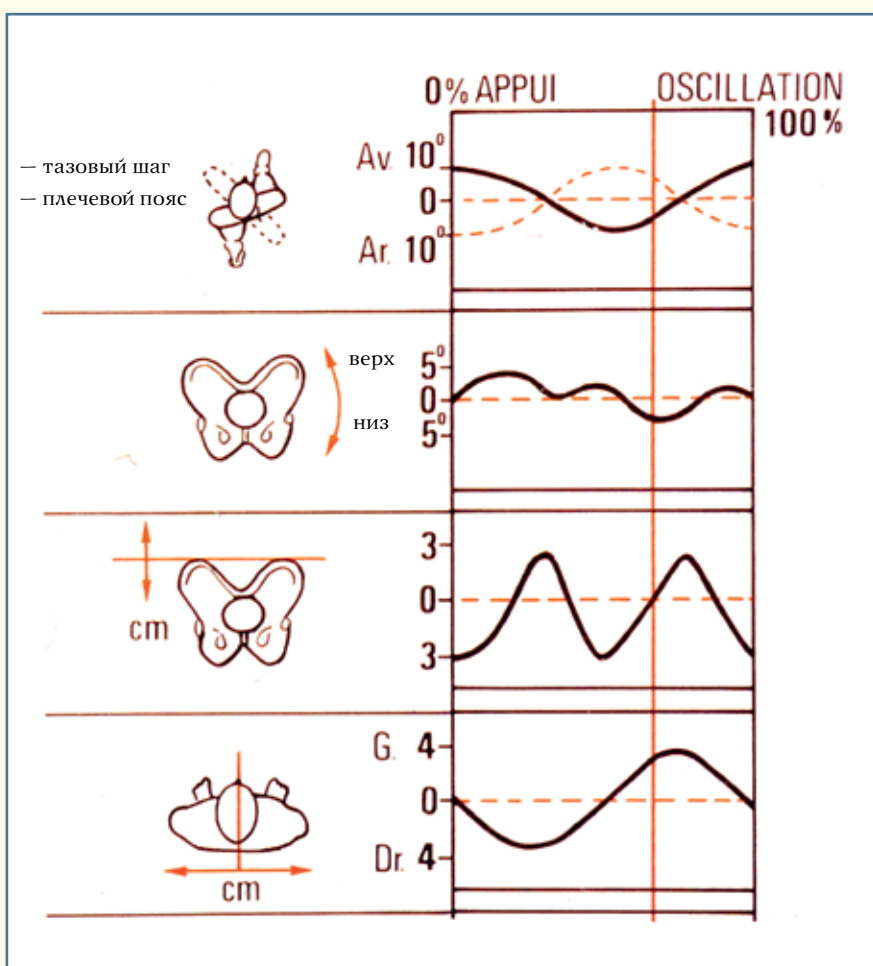


Рис. 5

Фазы тазового шага

(уровень шишковидной железы). Мы утверждаем, что идеальный статический баланс достигается, когда эта точка расположена на линии гравитации, восстановленной из центра полигональной зоны опоры. Это полностью соответствует положению центра гравитации головы – позади и несколько выше турецкого седла (J.M. Vital, 1986). Может быть, это – что-то вроде неврального гироскопа?

Идеальный баланс строго индивидуален и является результатом адаптации и компенсации. Концепция динамического баланса тесно связана с концепцией конуса экономии. Динамическое измерение давления на полигональную зону опоры позволяет оценить изменения состояния конуса экономии во времени. Временные изменения, например, старение, сопровождаются потерей мышечной силы, деградацией невального статуса (скорость нервной передачи и последующей реакции). Таким образом, сбалансированное тело человека со временем становится несбалансированным, далее возможно достижение критического уровня, когда баланс грубо нарушен спонтанно и требуется много труда, чтобы хотя бы частично его восстановить, и, наконец, ситуация, когда даже частичное восстановление практически невозможно. Эти процессы можно отобразить на диаграмме – кривая прогрессирования или, наоборот, кривая восстановления. Эти данные могут быть полезны для принятия решения о времени хирургической коррекции деформированного позвоночника. Анализ движений туловища был описан более полувека назад R. Ducroquet (1965). Исследуемый находился в комнате, полностью покрытой зеркалами для одновременного наблюдения движений в трех проекциях. Именно так описан и определен тазовый шаг (*pelvic step*) – постоянное перемещение тазового позвонка (*pelvic vertebra*), придающее гармоничность ходьбе, особенно в горизонтальной плоскости (рис. 5). В ходе 3D-анализа ориентации таза в случае идиопатического сколиоза часто отмечается, что торсия поясничного отдела позвоночника продолжается на уровень таза и проявляется изменением формы проекции подвздошных костей, sciatic notch, или асимметрией запирающих отверстий. В настоящее время оптоэлектронные системы (например, Vicon system) позволяют получать великолепные высокостепенные данные о любых пространственных перемещениях за счет использования наружных маркеров и, таким образом, неинвазивно исследовать динамический баланс. Эти процессы хорошо изучены применительно к фронтальной

и сагиттальной плоскостям, но гораздо менее – для горизонтальной. Красивые информативные диаграммы, получаемые с помощью таких систем, позволяют измерить участие и характер смещений любых анатомических структур в статике и динамике, например, роль тазового позвонка в компенсации любых нарушений мобильности позвоночника. Прекрасный пример – изучение результатов грудного спондилодеза (не ниже L₂) у 30 больных идиопатическим сколиозом. Было доказано, что и в статике, и в динамике тазовый позвонок играет огромную роль в компенсаторных процессах через 9, 18 и более 30 мес. после операции. Кроме того, все больные были обследованы до и после операции с помощью EOS-установки и 3D-реконструкции скелета позвоночника и таза, и мы смогли продемонстрировать, что в 50 % случаев даже *pelvic incidence* изменился благодаря ротации в пределах крестцово-подвздошных сочленений.

Таким образом, мы приходим к заключению, что цепочка баланса для вертикального положения туловища (стоя или сидя) включает перманентную статическую и динамическую адаптацию всех костей и суставов – от полигональной опорной зоны до *cephalic vertebra* через позвоночник и *pelvic vertebra*, включая, если это необходимо, структуральные изменения собственно костей и суставов (как это может быть в области таза) для достижения горизонтального взора.

Выводы

1. *Pelvic vertebra* играет важную роль в суставной цепи баланса тела (как сидя, так и стоя) за счет стратегического положения между позвоночником и нижними конечностями – в норме и в патологических ситуациях.
2. *Pelvic incidence* представляет собою показатель возможности таза регулировать величину лордоза/кифоза для достижения баланса.
3. Функция таза в статике и динамике – компенсация патологических изменений выше и ниже него для достижения 3D-баланса.
4. Когда все возможности постуральной компенсации исчерпаны, таз может анатомически модифицироваться (включая *pelvic incidence* в сагиттальной плоскости) для устранения или коррекции патологических состояний.

Перевод М.В. Михайловского

Address correspondence to:

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

Статья поступила в редакцию 11.05.2016

Жан Дюбуссе, профессор детской ортопедии, член Национальной медицинской академии Франции, научный консультант Новосибирского НИИ травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия.

Jean Dubousset, Professor of Pediatric Orthopaedics, Member of the French National Academy of Medicine, academic adviser in the Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Russia.