

Оценка возможности визуализации локального мышечного гипертонуса паравертебральных мышц с применением технологии виброизображения

А. А. Косенков¹, В. А. Минкин², Д. А. Кузьмин¹

¹Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна ФМБА
России, Москва,
kossenkov@gmail.com

²ООО «Многопрофильное предприятие «Элсис», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: Исследована возможность бесконтактной оптической визуализации локального мышечного гипертонуса паравертебральных мышц с применением технологии виброизображения. Для увеличения контраста при выявлении микровибрации мышц спины были опробованы методы прилегающей контрастной одежды и нанесения йодной сетки. Для уменьшения шума от неинформативных макродвижений тела были проведены исследования испытуемых стоя, лежа и с задержкой дыхания на 30 секунд. Проведен анализ полученных результатов при различном напряжении паравертебральных мышц. Проведенные исследования показали невозможность выявления мышечного напряжения паравертебральных мышц с помощью технологии виброизображения и стандартных веб камер с разрешением 1280×720 элементов и разрядностью АЦП 8 бит.

Ключевые слова: виброизображение, микровибрации, гипертонус скелетных мышц, паравертебральные мышцы.

The Possibility of Local Muscle Hypertonicity Visualization of Paravertebral Muscles Using Vibraimage Technology

Alexander A. Kosenkov¹, Viktor A. Minkin², D. A. Kuzmin¹

¹A. I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia,
kossenkov@gmail.com

²Elsys Corp, St. Petersburg, Russia

Abstract: The possibility of contactless optical visualization of local muscle hypertonicity of the paravertebral muscles using vibraimage technology has been studied. To increase the contrast in detecting microvibration of the muscles of the back, the methods of adjacent contrast clothing and the application of an iodine mesh were tested. To reduce noise from non-informative body macro movements, studies were carried out on the subjects standing, lying down and holding breath for 30 seconds. The analysis of the results obtained with different tension of the paravertebral muscles was carried out. The conducted studies have shown the impossibility of detecting muscle tension of the paravertebral muscles using vibraimage technology and standard webcams with the resolution 1280×720 pixels and an ADC bit depth 8 bits.

Keywords: vibraimage, microvibration, hypertonus of skeletal muscles, paravertebral muscles.

Введение

Локальный гипертонус мышц является важным симптомом при различных патологических состояниях в неврологии, травматологии, психотерапии и других клинических дисциплинах. Обычно гипертонус мышц шеи и спины сочетается с болью различной интенсивности, что часто сопровождается, например, мышечно-тонические (рефлекторные) либо миофасциальные синдромы (Парфенов, 2003; Рачин и др., 2006). Однако, нередко повышенный тонус паравerteбральных мышц может не сопровождаться болевым синдромом как, например, при длительной работе в неудобной позе, избыточных по силе или времени физических нагрузках, на начальных этапах формирования приобретенных деформаций позвоночного столба (кифоз, сколиоз) или смещения тел позвонков (спондилолистез), а также при тревожно-фобических расстройствах или сильном эмоциональном потрясении. В частности, классик направления телесно-ориентированной терапии Вильгельм Райх считал, хронический мышечный гипертонус может возникать у человека вследствие сдерживания им разного рода возбуждения как позитивных (удовольствие), так и негативных (тревога, гнев) эмоций (Райх, 2000). Такое ограничение жизненного функционирования, своеобразный психологический или, как называл его автор, характерный «панцирь», свойственный больным неврозом, приводит к формированию мышечного «панциря» в одном или более сегментах тела, начиная глазным и заканчивая тазовым панцирным сегментом. Соответственно показателем успешной терапии является изменение мышечного хабитуса и, в частности, устранение локального гипертонуса.

По мнению А. Менегетти, мышечный гипертонус может быть связан с внешней обработкой внутренних переживаний, в основном конфликтного характера (Менегетти, 2022). Схожую точку зрения высказывает и Ф. Рупперт, указывая на то, что психотравмирующие ситуации могут приводить к хронической болезненной симптоматике, проявляющейся на эмоциональном и телесном уровнях, например, в виде мышечных спазмов (Рупперт, 2019). Развивая эти идеи, М. В. Фещенко уточняет, хронический мышечный гипертонус, как и любой другой телесный симптом можно рассматривать как способ адаптации организма к внешней и внутренней реальности человека, либо следствие сдерживания или подавления человеком сильных эмоций (Фещенко, 2023). В связи с чем, для наиболее точного понимания природы симптома телесно-ориентированная терапия предполагает сбор максимально подробного анамнеза.

Принципиальную возможность регистрации микровибраций мышечных волокон даже в состоянии относительного покоя мышц показана в работе Г. Рорахера и К. Инанаги (Рорахер, Инанаги, 1969), однако использованные ими технологии не могут быть рекомендованы для широкого применения из-за их высокой сложности.

Применение технологии виброизображения (ВИ) (Минкин, 2007, 2020) для регистрации микровибраций головы, а также опыт разработчиков технологии в визуальной репрезентации амплитудно-частотных характеристик этих движений позволили авторам предположить, что:

а) с помощью ВИ можно зарегистрировать вибрации в зонах локального тонического напряженных мышц;

б) после математической обработки полученных сигналов визуализировать эти участки на экране монитора компьютера путем графического отображения на мониторе параметров микровибраций напряженных мышц.

Целью настоящего исследования была оценка возможности визуализации локального гипертонуса паравертбральных мышц с применением технологии виброизображения и стандартных веб камер с разрешением не более 1280×720, частотой кадров 30 Гц и разрядностью АЦП 8 бит.

Метод, этапы и результаты исследования

Для объективизации повышенного локального напряжения мышц производились видеозаписи спины мужчины нормального телосложения с помощью программы Covid5s, разработанной предприятием Элсис (Санкт-Петербург, Россия). Запись производилась веб-камерой Microsoft LifeCam Cinema с неизменной частотой кадров 30 Гц, при этом разрешение (видео), расстояние до объекта, различалось на различных этапах исследования (табл. 1). Длительность одного сеанса записи составляла 30 сек.

Оценка возможности визуализации гипертонуса мышц спины проходило в несколько этапов. На каждом этапе производилась видеозапись спины (как в напряженном, так и в расслабленном состоянии), которая в дальнейшем подвергалась обработке программой Vibraimage PRO, разработанной предприятием Элсис, с настройками близкими к режиму MACRO (Минкин, 2020). Переход от одного этапа к последующему происходил после того, как авторы убеждались, что условия видеозаписи не позволяют добиться визуализации произвольного локального мышечного напряжения в сравнении с состоянием относительного покоя.

Таблица 1

Этапы и условия проведения исследования

№	Расстояние до объекта, см	Разрешение (видео), пк	Положение тела	Средство повышения контрастности	Задержка дыхания
1	около 200	640×480	стоя	полосатая одежда*	нет
2	около 200	640×480	стоя	йодная сетка	нет
3	около 20	640×480	стоя	йодная сетка	нет
4	около 20	1280×720	стоя	йодная сетка	нет
5	около 20	1280×720	стоя с опорой на стену	йодная сетка	нет
6	около 20	1280×720	лежа	йодная сетка	нет
7	около 20	1280×720	лежа	йодная сетка	да **

Примечания:

* — использовались облегчающие футболки с узкими горизонтальными и вертикальными полосками;

** — задержка дыхания после нефорсированного и неполного выдоха.

Гипотезы авторов, которые предлагались для проверки перед началом исследования и после получения отрицательного результата на предыдущем этапе (отсутствие различий в визуализации между состоянием мышц спины при их произвольном напряжении и расслаблении):

1 этап — использование полосатой одежды для получения контрастного изображения и запись всей спины в положении стоя с расстояния около 2 метров позволит с помощью технологии ВИ объективизировать напряженное состояние мышц спины в сравнении с относительно расслабленным;

2 этап — возможно, одежда является помехой. Решение — нанесение йодной сетки на кожу спины;

3 этап — возможно, расстояние до объекта слишком велико. Решение — уменьшение расстояния в 10 раз до 20 см;

4 этап — возможно, разрешение входного сигнала недостаточно. Решение — увеличение разрешения до максимального значения для камеры Microsoft LifeCam Cinema (1280×720 пикселей);

5 и 6 этапы — возможно, произвольные движения тела для поддержания равновесия являются помехой. Решение — произвести записи: а) в положении стоя с опорой на стену и б) в положении лежа на животе;

7 этап — возможно, дыхательные движения являются помехой. Решение — произвести запись в положении лежа с задержкой дыхания.

Типичное изображение и виброизображение при проведении исследования гипертонуса мышц спины приведены на рисунке 1.

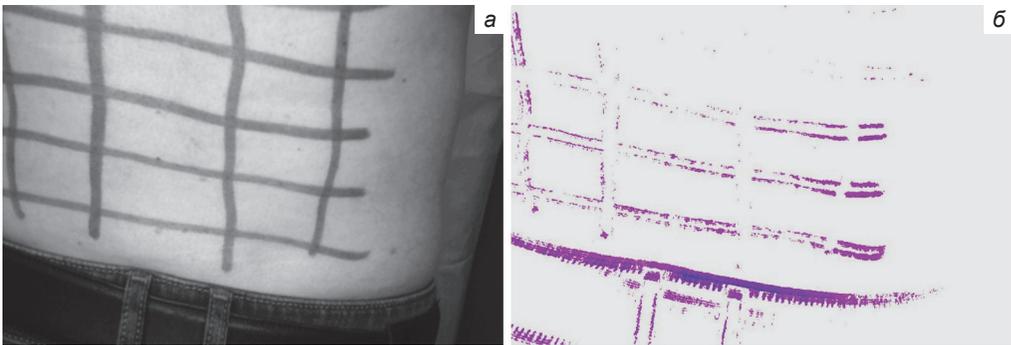


Рис. 1. Изображение спины человека с нанесенной сеткой (а) и виброизображение спины человека с нанесенной сеткой (б), взятые в один момент времени видеозаписи

Виброизображение нанесенной йодной сетки, приведенное на рисунке 1б, показывает, что оно образовано макродвижением тела в вертикальном направлении, т. к. отчетливо видна горизонтальная часть йодной сетки, и локальные вибрации практически не дают виброизображения.

В серии испытаний была проведена последовательная оптимизация условий видеозаписи для оценки возможности визуализации локального мышечного гипертонуса паравerteбральных мышц с применением технологии виброизображения.

Наиболее оптимальными условиями записи видеосигнала в диапазоне видимого света были:

- 1) расстояние до объекта около 20 см,
- 2) разрешение входящего сигнала 1280×720 пикселей,
- 3) частота кадров 30 Гц,
- 4) контрастная сетка, нанесенная на кожу с помощью синтетического красителя,
- 5) положение тела лежа на животе,
- 6) задержка дыхания во время записи видеоизображения.

Результаты исследования показали, что даже в этих условиях не удается добиться визуализации локального гипертонуса паравerteбральных мышц в диапазоне видимого света и с использованием имеющегося инструментария.

Обсуждение результатов

По мнению авторов, визуализация зон повышенного тонуса скелетных мышц могла быть полезной в практике врачей различной специализации, в частности неврологов, реабилитологов и психотерапевтов, а также для проведения сеансов релаксации с помощью биологической обратной связи. Было проведено несколько этапов сравнительного исследования расслабленных и напряженных паравerteбральных мышц человека, в ходе которых авторы предпринимали шаги к повышению детализации ВИ (приближение объекта исследования и увеличение разрешения входящего видеосигнала), поиску оптимального способа повышения контрастности объекта исследования, а также снижению уровня помех, вызываемых дыхательными и другими движениями. Авторы выбрали объектом исследования паравerteбральные мышцы, т. к. они выполняют преимущественно антигравитационную функцию, поддерживая тело человека в вертикальном положении. То есть, тоническое напряжение является их обычным состоянием при вертикальном положении тела, и отличить его от состояния гипертонуса путем пальпации или самооценки не всегда просто. При этом длительное пребывание мышц в состоянии гипертонуса может нарушать местное кровообращение и негативно сказываться на трофике как их самих, так и окружающих тканей, приводить к скованности и снижению подвижности, образованию болезненных уплотнений в проблемной зоне.

Полученные результаты не показали возможность выявления устойчивых зависимостей в полученных виброизображениях мышц различной напряженности предположительно в силу следующих основных причин:

1. Движение. Виброизображение регистрирует механическое движение, усиливая в нем периодические или стохастические вибрации контрастного объекта (Минкин, 2007). Рорахер доказал, что практически в каждой точке человеческого тела можно зарегистрировать вибрации мышц с помощью акселерометров, но регистрация точечных внутренних вибраций не идентична внешнему перемещению в той же точке. Акселерометр может реагировать на внутренние вибрации в человеческом теле, но оптические методы, лежащие в основе виброизображения,

фиксируют только внешние перемещения поверхности кожи, которое практически отсутствует при микровибрации мышц.

2. Контраст. Начиная данное исследование, мы понимали, что контраст кожи спины человека явно недостаточен для регистрации движения стандартной веб камерой с разрешающей способностью от 640×480 до 1280×720 и разрядностью АЦП 8 бит. Для увеличения контраста были использованы контрастная одежда и йодная раскраска кожи. Контрастная одежда недостаточно плотно прилегала к телу, чтобы выявить микронные вибрации мышц. Йодная сетка показала большую чувствительность к произвольным движениям тела и дыханию, чем к точечным микровибрациям. Так как микровибрации мышц носят точечный характер, они компенсируют друг друга при анализе макрообъекта, которым является йодная раскраска. Кроме того, точечная микровибрация кожи носит вертикальный характер относительно поверхности тела. Следовательно, микронное движение поверхности кожи, перпендикулярное плоскости тела, практически не вызывает движения в фокальной плоскости веб камеры и в тысячи раз уменьшает вероятность регистрации виброизображения.

3. Отношение сигнал-шум. Шумом при анализе микросокращений мышц являются прежде всего, движения тела, не связанные с сокращением мышц, а именно дыхательные движения и произвольные движения всего тела. Оказалось, что произвольные движения тела и дыхания, которые амортизируются биомеханикой человеческого скелета при анализе микровибраций головы человека, никак не уменьшаются при наблюдении за мышцами спины. Величина перемещений, связанных с дыханием и движениями тела, составляет сантиметры, что в десятки тысяч раз превосходит микровибрацию мышц, открытую Рорахером. Естественно, что с таким уровнем физического шума от постоянных движений человеческого тела не представляется возможным оптически выявить микровибрацию мышц на спине человека.

Так как целью данного исследования была разработка дешевого и доступного метода визуализации мышечных напряжений, то мы не использовали специальные и более дорогие телевизионные камеры с повышенной частотой кадров до 1000 Гц и расширенным диапазоном разрядности АЦП 12–16 бит, в том числе со специальной подсветкой (Que et al., 2022), достаточно часто используемые для анализа вибраций. Однако выявленные сложности (движение, контраст, сигнал-шум) визуализации мышечных напряжений тела позволяют скептически отнестись к возможности выявления мышечных напряжений даже со значительно более качественным оборудованием оптическими методами.

Заключение

Леонардо да Винчи утверждал, что эксперимент не может ошибаться, ошибаться могут исследователи в своих предположениях (Brown, 1998). Для нас было неожиданным, что технология виброизображения, которая позволяет уверенно регистрировать микронные вибрации головы и с высокой точностью

диагностировать COVID-19 (Минкин, Косенков, 2021), не справилась с задачей выявления микровибраций тела, которые успешно выявляются механическими контактными акселерометрами (Рорахер, Инанага, 1969). Мы считаем, что проведенные нами исследования и результаты их анализа могут быть интересны другим исследователям, т. к. показывают физические ограничения технологии виброизображения, как и любой другой оптической технологии при измерении информативных перемещений малоконтрастных микрообъектов на фоне неинформативных макроперемещений.

Литература:

1. Менегетти, А. (2022) *Психосоматика*. Москва: НФ «Антонио Менегетти».
2. Минкин, В. А. (2007) *Виброизображение*. СПб.: Реноме.
<https://doi.org/10.25696/ELSYS.B.RU.VI.2007>
3. Минкин, В. А. (2020) *Виброизображение, кибернетика и эмоции*. СПб.: Реноме.
<https://doi.org/10.25696/ELSYS.B.RU.VCE.2020>
4. Минкин, В. А., Косенков, А. А. (2021) *Поведенческие параметры как симптомы COVID-19. Новые возможности и старые проблемы медицинской диагностики*, Современная психофизиология. Технология виброизображения, июнь 2021 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Элсис, 2021, No. 1 (4), С. 88–103.
5. Парфенов, В. А. (2003) *Мышечный спазм при боли в спине — патогенез, диагностика и лечение*, РМЖ, 2003, Т. 11, No. 10, С. 590–593.
6. Райх, В. (2000) *Анализ характера*. М.: Апрель Пресс: Эксмо-Пресс.
7. Рачин, А. П., Якунин, К. А., Демешко, А. В. (2006) *Миофасциальный болевой синдром (диагностика, подходы к немедикаментозной терапии и профилактика)*. Смоленск.
8. Рорахер, Г., Инанага, К. (1969) *Микровибрация: ее биологическая функция и клиникодиагностическое значение*. Hans Huber Bern Stuttgart Wien publishing.
9. Рупперт, Ф. (2019) *Моё тело, моя травма, моё Я с точки зрения ориентированной на идентичность теории и терапии психотравмы (ОИТП)*. В кн.: *Мое тело, моя травма, моё Я*. СПб.: Меридиан-С, С. 14–105.
10. Фещенко, М. В. (2023) *Техники телесно-ориентированной терапии в работе с психосоматикой*, Методология современной психологии, 2023, No. 17, С. 321–327.
11. Brown, D. A. (1998) *Leonardo Da Vinci: Origins of a Genius*. New Haven: Yale University Press.
12. Que et al. (2022) *Contactless Heartbeat Measurement Using Speckle Vibrometry*, 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), IEEE. doi:10.1109/EMBC48229.2022.9871712