



Биомеханическое обоснование техники виса в скалолазании

Козин С.В.

Харьковский национальный педагогический университет имени Г.С. Сковороды

DOI: <https://doi.org/10.34142/HSR.2019.05.01.03>

Abstract

Kozin S.V. Biomechanical substantiation of the technique of hanging in rock climbing. *The purpose* of the work is to identify the main kinematic characteristics of a hanging in rock climbing by athletes of different qualifications and theoretically substantiate the correct technique for performing of a given movement. *Material and methods.* The technique of hanging performance in bouldering of 20 leading climbers of the World and Ukraine and 20 beginner male amateur climbers was analyzed. The age of athletes was 22.4 ± 3.2 years, body length 178.5 ± 12.5 cm, body weight 72.2 ± 8.5 kg. A qualified athlete took part in a demonstration of various models for performing a hang. Using the Kinovea 0.8.15 computer program, the kinematic characteristics of the two models of technology were analyzed (model 1 — typical for novice athletes, model 2 — typical of qualified athletes) based on determining the angle between the shoulder and shoulder girdle, as well as between the lumbar spine and vertical axis. Results. The main kinematic parameters of vibration in climbing for various models of equipment, characteristic of athletes of different qualifications, are revealed. The presence of significant differences ($p < 0.001$) in the angles between the shoulder and the upper arm, between the lower spine and the vertical axis in the fixation phase of the vis is shown. The angle between the shoulder and shoulder girdle in the first model of technology was 146° , in the second model of technology this angle is 97° . The angle between the lumbar spine and the vertical axis was 11° in the first model, in the second model this angle was 28° . A theoretical justification of the correct hanging technique climbing in terms of the laws of mechanics and the laws of the interaction of forces in the kinematic chain. Findings. In the first model, vis is carried out mainly due to the ligamentous apparatus of the joints of the shoulder girdle with minimal inclusion of muscles, which is dangerous by injury to the ligaments of the shoulder joint. In the second model, VIS also provides for the inclusion of the muscles of the trunk and legs, which reduces the load on the ligamentous apparatus and reduces the chance of injury to the ligaments of the shoulder joint.

Keywords: rock climbing; bouldering; vis; equipment; kinematic characteristics

Анотація

Козін С.В. Біомеханічне обґрунтування техніки вису в скелелазінні. Мета роботи - виявити основні кінематичні характеристики вису в скелелазінні у спортсменів різної кваліфікації та теоретично обґрунтувати правильну техніку виконання даного руху. *Матеріал і методи.* Було проаналізовано техніка виконання вису в боулдерінг 20-ти провідних скелелазів Миру і України і 20-ти початківців скелелазів-любителів чоловічої статі. Вік спортсменів $22,4 \pm 3,2$ року, довжина тіла $178,5 \pm 12,5$ см, маса тіла $72,2 \pm 8,5$ кг. У демонстрації різних моделей виконання вису взяв участь кваліфікований спортсмен. За допомогою комп'ютерної програми Kinovea 0.8.15 були проаналізовані кінематичні характеристики двох моделей техніки (модель 1 - характерна для початківців спортсменів, модель 2 - характерна для кваліфікованих спортсменів) на основі визначення величини кутів між плечем і ключицею, а також між поясничним відділом хребта і вертикальною віссю. *Результати.* Виявлено основні кінематичні параметри вису в скелелазінні для різних моделей техніки, характерних для спортсменів різної кваліфікації. Показано наявність достовірних відмінностей ($p < 0,001$) у величині кутів між плечем і надпліччям, між поясничним відділом хребта і вертикальною віссю в фазі фіксації вису. Кут між плечем і надпліччям в першій моделі техніки склав 146° , у другій моделі техніки даний кут становить 97° . Кут між поперековим відділом хребта і вертикальною віссю склав в першій моделі 11° , у другій моделі даний кут склав 28° . Дано теоретичне обґрунтування правильної техніки вису в скелелазінні з точки зору законів механіки і законів взаємодії сил в кінематичному ланцюзі. *Висновки.* У першій моделі вис здійснюється в основному за рахунок зв'язкового апарату суглобів плечевого пояса при мінімальному включенні м'язів, що небезпечно травмуванням зв'язок плечевого суглоба. У другій моделі вис забезпечує також включення м'язів тулуба і ніг, що знижує навантаження зі зв'язкового апарату і знижує ймовірність травмування зв'язок плечевого суглоба.

Ключові слова: скелелазіння; боулдерінг; вис; техніка; кінематичні характеристики

Аннотация

Цель работы – выявить основные кинематические характеристики виса в скалолазании у спортсменов разной квалификации и теоретически обосновать правильную технику выполнения данного движения. *Материал и методы.* Была проанализирована техника выполнения виса в боулдеринге 20-ти ведущих скалолазов Мира и Украины и 20-ти начинающих скалолазов-любителей мужского пола. Возраст спортсменов $22,4 \pm 3,2$ года, длина тела $178,5 \pm 12,5$ см, масса тела $72,2 \pm 8,5$ кг. В демонстрации различных моделей выполнения виса принял участие квалифицированный спортсмен. С помощью компьютерной программы Kinovea 0.8.15 были проанализированы кинематические характеристики двух моделей техники (модель 1 – характерна для начинающих спортсменов, модель 2 – характерна для квалифицированных спортсменов) на основе определения величины углов между плечом и надплечьем, а также между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью. *Результаты.* Выявлены основные кинематические параметры виса в скалолазании для различных моделей техники, характерных для спортсменов разной квалификации. Показано наличие достоверных различий ($p < 0,001$) в величине углов между плечом и надплечьем, между нижним отделом позвоночника и вертикальной осью в фазе фиксации виса. Угол между плечом и надплечьем в первой модели техники составил 146° , во второй модели техники данный угол составляет 97° . Угол между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью составил в первой модели 11° , во второй модели данный угол составил 28° . Дано теоретическое обоснование правильной техники виса в скалолазании с точки зрения законов механики и законов взаимодействия сил в кинематической цепи. *Выводы.* В первой модели вис осуществляется в основном за счет связочного аппарата суставов плечевого пояса при минимальном включении мышц, что опасно травмированием связок плечевого сустава. Во второй модели вис обеспечивает также включение мышц туловища и ног, что снижает нагрузку со связочного аппарата и понижает вероятность травмирования связок плечевого сустава.

Ключевые слова: скалолазание; боулдеринг; вис; техника; кинематические характеристики



Введение

Скалолазание является быстро развивающимся видом спорта и недавно было включено в программу Олимпийских игр 2020 года в Токио и Олимпийских юношеских игр 2018 года. Это предъявляет высокие требования к уровню спортивного профессионализма. Особое значение приобретает совершенствование технической подготовки спортсменов (Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007; Campbell, Davis, Paterson, Cushing, Ng, Peterson, . . . McIntosh, 2017; Kozina, Repko, Safronov, Kozin, Evarnickii, & Grebniova, 2018); Kozina, Repko, Kozin, Kostyrko, Yermakova, & Goncharenko, 2016). Правильная техника физического упражнения – это способ его выполнения, при котором двигательная задача решается наиболее эффективно и рационально (Adrian, & Cooper, 1995; Arend, & Higgins, 1976; Harriett, 1999). То есть, физическое упражнение предполагает выполнение какой-либо двигательной задачи. Эта двигательная задача должна быть выполнена наиболее рационально: как можно быстрее, точнее, результативно и т.п. (Carr, 1997; Cooper, & Glassow, 1916; Douwes, & DuI, 1991). Правильная техника предполагает, прежде всего, энергетическую экономичность движения, что обуславливает не только экономию сил, создавая тем самым возможность достижения максимально высоких для спортсмена результатов. Выполнение движений наиболее рациональным способом предотвращает травматизм (Rodio, Quattrini, Fattorini, Egidi, & Marchetti, 2006; Schoffl, Lutter, & Popp, 2016; Schoffl, Lutter, Woollings, & Schoffl, 2018), создавая условия для биомеханически целесообразной работы двигательного аппарата (Schoffl, Hoffmann, Imhoff, Kupper, Schoffl, Hochholzer, & Hinterwimmer, 2018a; van Middelkoop, Bruens, Coert, Selles, Verhagen, Bierma-Zeinstra, & Koes, 2015; White, & Olsen, 2010).

Основные требования к соблюдению правильной техники физических упражнений сформировались на протяжении многовековой истории человечества: сначала опытным путём, а затем научно обоснованно. В настоящее время в скалолазании техника движений формируется опытным путем нескольких поколений спортсменов, достигших высокой квалификации. Поскольку скалолазание – относительно молодой вид спорта, техника движений в нем еще окончательно не сформирована. Можно предположить, что техника движений в скалолазании еще будет развиваться и совершенствования. Поскольку этот процесс

происходит эмпирическим путем, он является достаточно длительным. Кроме того, длительным является и процесс обучения технике скалолазания, поскольку также происходит эмпирически, путем многократных проб и ошибок каждого спортсмена.

Научное обоснование правильной техники движений позволяет определить пути совершенствования технического мастерства в целом путем создания общих и индивидуальных (Kozina, Grin, & Yefimov, 2010; Kozina, 2005; Korobejnikov, Korobejnikova, Kozina, 2012; Kozina, Koval, Kovtun, Temchenko, 2015) моделей техники различных движений. Кроме того, научное обоснование правильной техники позволяет значительно сократить сроки обучения отдельным техническим элементам. Все вышеизложенное показывает необходимость научного обоснования правильной техники различных движений в скалолазании.

Научное обоснование правильной техники движений подразумевает ее биомеханический анализ с точки зрения определения оптимальных вариантов выполнения различных движений. Это возможно при обосновании эффективности техники различных движений при опоре на законы физики (механики), биомеханики, физиологии, биохимии. Особое место в исследовании техники движений имеет биомеханический анализ, который подразумевает определение различных показателей техники движений: скорости и ускорения движений отдельных звеньев тела, величины углов в суставах и т.д. (Adrian, & Cooper, 1995; Arend, & Higgins, 1976; Harriett, 1999). Сопоставление данных характеристик с физическими законами дает возможность определить наиболее эффективный вариант выполнения различных элементов. Поскольку в скалолазании научное обоснование техники выполнения отдельных элементов только начинает проводиться, данное направление является актуальным и своевременным.

Большое значение имеет анализ техники выполнения базовых элементов, одним из которых является вис при захвате зацепа после прыжка в боулдеринге (White, & Olsen, 2010). Техника данного элемента сформировалась эмпирически, также, как и других элементов в скалолазании. Поэтому научное обоснование техники данного элемента позволит разработать принципы выполнения других элементов в скалолазании.

В данном исследовании была поставлена гипотеза: существуют различия в технике



выполнении виса в скалолазании у спортсменов разной квалификации.

Цель работы – выявить основные кинематические характеристики виса в скалолазании у спортсменов разной квалификации и теоретически обосновать правильную технику выполнения данного движения.

Материал и методы

Участники

Была проанализирована техника выполнения виса в боулдеринге 20-ти ведущих скалолазов Мира и Украины и 20-ти начинающих скалолазов-любителей мужского пола. Возраст спортсменов $22,4 \pm 3,2$ года, длина тела $178,5 \pm 12,5$ см, масса тела $72,2 \pm 8,5$ кг. В демонстрации различных моделей выполнения виса принял участие автор – квалифицированный спортсмен, кандидат в мастера спорта Украины, победитель и призер всеукраинских соревнований.

Протокол эксперимента

На первом этапе исследования была проанализирована техника выполнения виса в боулдеринге 20-ти ведущих скалолазов Мира и Украины и 20-ти начинающих спортсменов. На основе анализа техники выполнения спортсменами виса были составлены основные характеристики правильной техники выполнения виса. На втором этапе были продемонстрированы и зафиксированы с помощью видеокамеры Sony FDR-X3000 правильная и неправильная техника выполнения виса. Демонстрация проводилась автором – квалифицированным спортсменом, кандидатом в мастера спорта Украины, победителем и призером всеукраинских соревнований.

На третьем этапе с помощью компьютерной программы Kinovea 0.8.15 были проанализированы кинематические характеристики двух моделей техники (модель 1 – характерна для начинающих спортсменов, модель 2 – характерна для квалифицированных спортсменов) на основе определения величины углов между плечом и ключицей, а также между позвоночником от середины грудного отдела до копчика и вертикальной осью. Анализ углов проводился от момента захвата зацепы до устойчивой фиксации виса ($t=30$ с, количество

проанализированных кадров составило 10, кадры выбирались через одинаковые промежутки времени; общее количество проанализированных попыток составило 20 для каждой модели техники). Была проведена сравнительная характеристика величин измеряемых углов в точке устойчивой фиксации виса на основе 20 измерений для каждой модели техники. На четвертом этапе был проведен биомеханический анализ двух моделей техники на основе закономерностей классической механики (взаимосвязь сил, действующих на тело при растяжении; взаимодействия сил в закрытых кинематических цепях). На основе биомеханического анализа были даны основные биомеханические характеристики правильной техники виса в скалолазании.

Статистический анализ

Было проведено сравнение величин измеряемых углов в точке устойчивой фиксации виса на основе 20 измерений для каждой модели техники с помощью метода Стьюдента для непарных выборок. Обработка данных проводилась с помощью компьютерных программ - «EXCEL-2016» и «SPSS-17».

Результаты

Анализ техники виса в скалолазании спортсменами разной квалификации показал наличие двух моделей техники выполнения данного движения, существенно различающихся по основным параметрам. Демонстрация данных моделей техники представлена на рисунках 1 и 2. На рисунке 1 показана первая модель техники виса в скалолазании. Она характеризуется минимальным напряжением мышц плеча, спины, большим углом между плечом и надплечьем и практически вертикальным положением нижнего отдела позвоночника с изогнутостью в верхнем отделе. Данный тип техники характерен для неквалифицированных спортсменов. На рисунке 2 показана вторая модель техники виса в скалолазании. Данная модель характеризуется напряжением мышц плеча, спины, большим углом между плечом и надплечьем и большим углом между позвоночником и вертикальной осью. Первая модель техники характерна для начинающих спортсменов-любителей, вторая модель техники характерна для квалифицированных спортсменов.

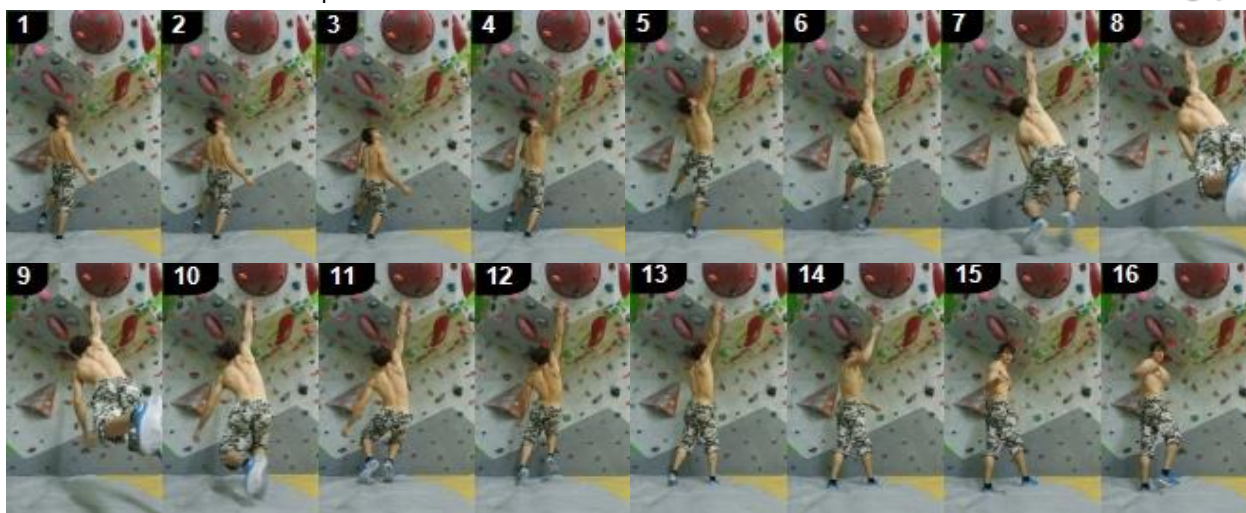


Рис. 1. Видеограмма вися в скалолазании, модель техники 1 (характерна для неквалифицированных спортсменов-любителей) (источник: фотографии автора)

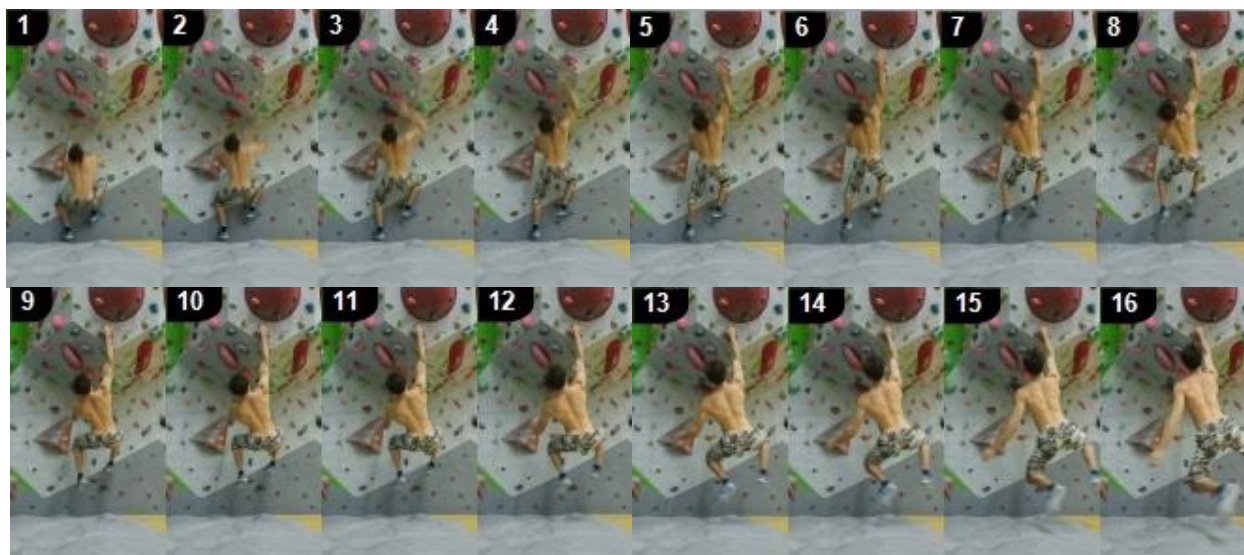


Рис. 2. Видеограмма вися в скалолазании, модель техники 2 (характерна для квалифицированных спортсменов) (источник: фотографии автора)

Кинематический анализ двух моделей техники вися в скалолазании показал наличие достоверных различий ($p < 0,001$) в величине углов между плечом и ключицей, между позвоночником и вертикальной осью в фазе фиксации вися (табл. 1, рис. 5). Так, угол между плечом и надплечьем в первой модели техники составил 146° (рис. 3, табл. 1), во второй модели техники данный угол составляет 97° (рис. 4, 5, табл. 1). Угол между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью составил в первой модели 11° (рис. 3, табл. 1), во второй модели данный угол составил 28° (рис. 4, табл. 1).

На рисунке 5 показана динамика изменения угла между плечом и надплечьем от момента захвата зацепа до фазы фиксации вися. В момент захвата зацепа величина угла между плечом и надплечьем практически одинакова для обеих моделей техники. Однако основной

интерес представляет положение в фазе фиксации вися. В данном положении наблюдается достоверное различие ($p < 0,001$) величина угла между плечом и надплечьем для первой и второй моделей. Во второй модели техники вися угол между плечом и надплечьем постепенно уменьшается от момента захвата зацепа до фазы фиксации зацепа, в то время как в первой модели данная величина держится на одном уровне (рис. 5). Эти различия обусловлены более выраженной работой мышц туловища, ног, плеча во второй модели по сравнению с первой моделью (рис. 1-4). Поскольку для второй модели (квалифицированные спортсмены) характерна выраженная работа мышц не только верхней конечности, но и туловища, ног, можно заключить, что вторая модель требует развития данных мышц, и не может применяться спортсменами низкой квалификации в связи с



недостаточным развитием мышечного аппарата. В первой модели вис осуществляется в основном за счет связочного аппарата суставов плечевого пояса при минимальном включении мышц, что опасно травмированием связок плечевого сустава.

Во второй модели вис обеспечивает также включение мышц, что снижает нагрузку со связочного аппарата и понижает вероятность травмирования связок плечевого сустава.

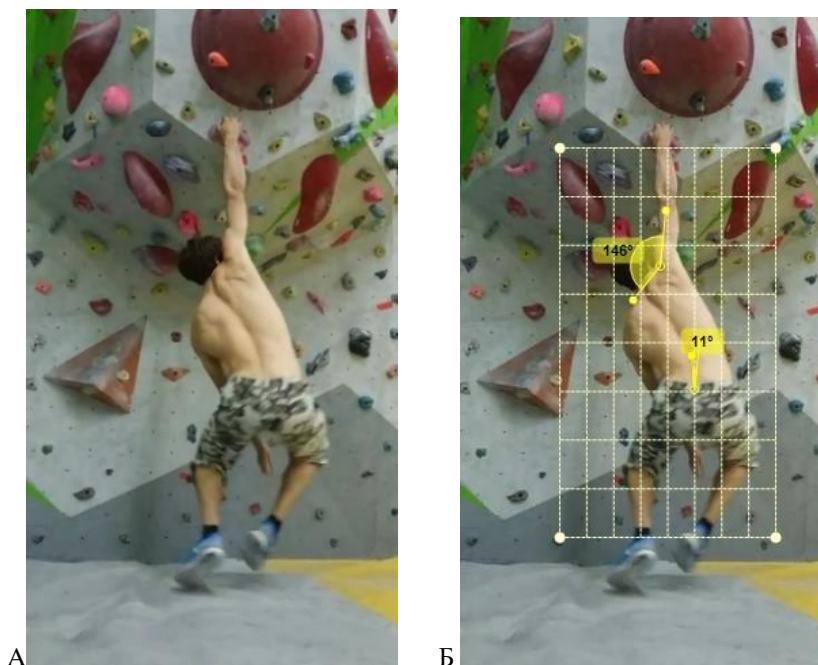


Рис. 3. Фаза фиксации виса в скалолазании, модель техники 1 (кадр №7 видеogramмы на рис. 1) (источник: фотографии автора):

А – иллюстрация кадра фиксации виса; Б – биомеханический анализ углов между плечом и ключицей, между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью



Рис. 4. Фаза фиксации виса в скалолазании, модель техники 2 (кадр №14 видеogramмы на рис. 2) (источник: фотографии автора):

А – иллюстрация кадра фиксации виса; Б – биомеханический анализ углов между плечом и ключицей, между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью

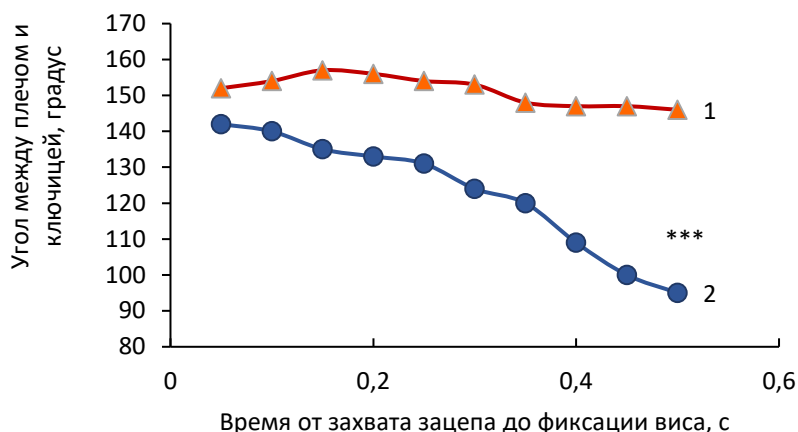


Рис. 5. Величина углов между плечом и надплечьем при висе в скалолазании:

1 – модель техники 1

2 – модель техники 2

*** - различия достоверны при $p < 0,001$

Таблица 1

Сравнительная характеристика величин углов между плечом и надплечьем, между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью в различных моделях выполнения виса в скалолазании (n=20)

Показатели	Модель техники	Статистические показатели				
		\bar{x}	S	m	t	p
Угол между плечом и ключицей	Модель 1	146	16	3,58	11,94	<0,001
	Модель 2	97	9	2,01		
Угол между вертикальной осью и позвоночником	Модель 1	11	4	0,89	-11,87	<0,001
	Модель 2	28	5	1,12		

Дискуссия

Гипотеза, поставленная в данном исследовании относительно наличия существенных различий в технике выполнения виса начинающими спортсменами-любителями и квалифицированными спортсменами, полностью подтвердилась. В данном исследовании являются новыми данные относительно кинематических параметров различных моделей техники виса в скалолазании. Правильная техника подразумевает наиболее эффективное выполнение движения, т.е. движение, при котором наблюдается оптимальное сочетание затрачиваемых усилий и достигаемого эффекта (Adrian, & Cooper, 1995; Arend, & Higgins, 1976; Harriett, 1999). Поэтому возникает вопрос, насколько оправдано напряжение мышц во второй модели техники виса. С одной стороны, к данной модели приходят спортсмены эмпирическим путем. Однако эффективность данной модели в настоящий момент, хотя и показала эффективность применения, не обоснована с точки зрения законов биомеханики

и кинезиологии. Для понимания путей совершенствования техники движений в скалолазании необходимо обоснование основных принципов движений. Одним из наиболее распространенных движений в скалолазании является вис (White, & Olsen, 2010). Поэтому обоснование правильности выполнения данного движения имеет большое значение для техники скалолазания в целом, а также – для других видов спорта, в технике которых встречаются подобные закономерности.

Исходя из этого, мы проанализировали обе модели техники виса в скалолазании с точки зрения законов физики (рис. 6) и особенностей взаимодействия сил в закрытых кинематических цепях (рис. 7). Мы схематично представили распределение напряжения при выполнении виса в виде соединенных между собой элементов. Эта «конструкция» прикреплена одним звеном к верхней опоре (d), и находится в состоянии виса (рис. 6). На рисунке 6 (1) представлена схема первой модели техники выполнения виса, на рисунке 6 (2) представлена схема второй модели



выполнении вися. Первая модель техники вися характеризуется минимальным включением мышц плечевого пояса, туловища, ног, в связи с этим площадь (b) соединения звеньев (a, c) относительно небольшая. Вторая модель техники вися в скалолазании характеризуется большей площадью (b) соединения звеньев (a, c) между собой за счет включения большего количества мышц плечевого пояса, туловища, ног.

С точки зрения уравновешенности сил, действующих на тело (McCarthy, & Soh, 2010; Uicker, Pennock, & Shigley, 2003), данные модели одинаковы: в обоих случаях вес тела, который является произведением массы тела (m) на ускорение свободного падения (g), удерживается в вися с помощью силы закрепления на опоре, которая равна силе реакции опоры F_p :

$$mg + F_p = 0$$

(1)

где:

m – масса тела,

g – ускорение свободного падения,

F_p – сила закрепления на опоре, равна силе реакции опоры

Однако, если рассмотреть данные модели с точки зрения закономерностей, обуславливающих сохранение конструкции, подвергающейся растяжению, то данные модели имеют существенные различия. Эти различия

обусловлены законами механики, в частности, сопротивлением материалов при растяжении или сжатии (Roylance, 2008).

Согласно основному закону условия прочности, при деформации растяжения или сжатия в сечениях стержня возникают нормальные напряжения σ . Продольная сила N связана с нормальным напряжением σ следующей зависимостью (формула 2):

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2)$$

где:

σ – нормальное напряжение;

N – продольная сила в сечении стержня;

A – площадь поперечного сечения стержня.

Согласно данной формуле, напряжение, возникающее при вися в скалолазании (σ), зависит от продольной силы, то есть от веса тела (N), и от площади поперечного сечения (A), то есть от мышц и связок плечевого пояса, обеспечивающих выполнение вися. Вес тела (N) одинаков в первой и второй моделях, однако площадь поперечного сечения (A) во второй модели больше. Соответственно, напряжение (σ) больше в первой модели по сравнению со второй, поскольку согласно формуле 2:

$$A_1 < A_2, N_1 = N_2, \text{ следовательно } \sigma_1 > \sigma_2$$

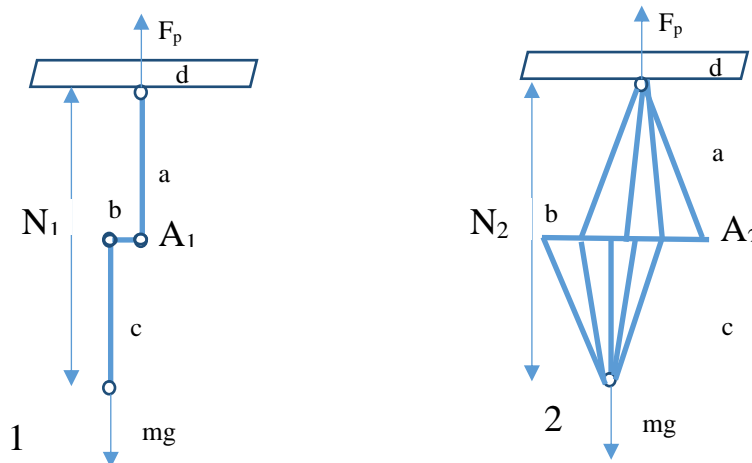


Рис. 6. Схемы моделей распределения напряжения при выполнении вися в скалолазании (источник: рисунок автора):

1 – модель 1 (неправильная техника);

2 – модель 2 (правильная техника);

a – верхняя часть цепи (рука);

b – соединение верхней и нижней частей цепи;

c – нижняя часть цепи (туловище);

d – опора (скалолазный стенд)

N – продольная сила в сечении стержня;

A – площадь поперечного сечения стержня (мышцы и связки в соединении плеча и туловища)



Более высокую эффективность модели 2 можно объяснить также с точки зрения сложения сил в кинематической цепи. Кинематическая цепь (к.ц.) - последовательное соединение ряда относительно подвижных кинематических пар (рука, нога или все тело спортсмена). В зависимости от наложенных на тело связей, различают три основных вида кинематической цепи, важных для понимания техники спортивного движения. Открытая или незамкнутая кинематическая цепь (с фиксацией одного ее конца в положениях типа стоек на руках, ногах, висов, а также при движениях свободной конечности - мах рукой, ногой и т. п.). Закрытая или замкнутая кинематическая цепь (положения при фиксированных обоих концах кинематической цепи, например - с одновременной опорой руками и ногами) (McCarthy, & Soh, 2010; Uicker, Pennock, & Shigley, 2003). В замкнутой или замкнувшейся цепи невозможно изолированное движение, т.е. движение в одиночном сочленении. Так, сгибая и выпрямляя ноги в выпаде, можно убедиться в

том, что движение в любом суставе непременно вызывает движения и в других.

Если рассматривать совокупность отдельных звеньев тела при выполнении виса, то данное положение можно охарактеризовать как незамкнутую кинематическую цепь (Shinkle, Nesser, Demchak, McMannus, 2012; Hides, Stanton, 2014; Myer, Ford, Palumbo, Hewett, 2005) под звеньями кинематической цепи понимают кости, соединенные между собой с помощью суставов, а также мышцы, крепящиеся к костям. Эти мышцы при напряжении образуют единую конструкцию. На рис. 7 (1) показан вариант кинематической цепи, образующийся в первой модели техники выполнения виса. В данном случае в поддержании всего тела в висе участвует только два звена кинематической цепи (A_1 и A_2). Работающие мышцы обуславливают силы F_1 и F_2 , образуют связанную конструкцию A_5 . В результате суммарная сила, обеспечивающая выполнение виса, равна сумме сил F_1 и F_2 .

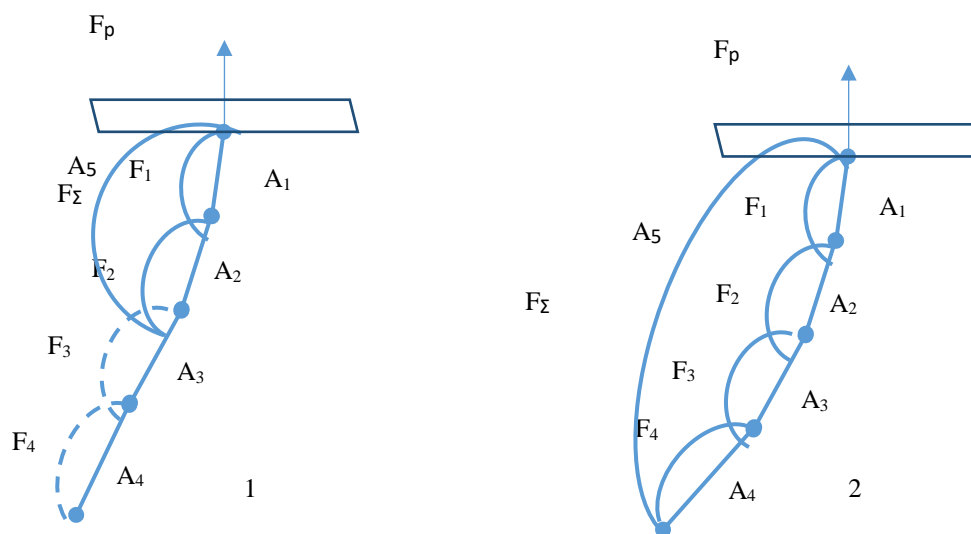


Рис. 7. Схема кинематической цепи в различных моделях виса в скалолазании (источник: рисунок автора):

1 – модель 1 (неправильная техника);

2 – модель 2 (правильная техника);

F_p – сила закрепления на опоре, равна силе реакции опоры;

F_Σ – сила, удерживающая тело на опоре в висе;

F_1, F_2, F_3, F_4 – силы, возникающие в результате напряжения отдельных мышц;

A_1, A_2, A_3, A_4 – звенья кинематической цепи (A_5 – связанная конструкция);

Модель 1 – кинематическая цепь образована небольшим количеством звеньев; сила, удерживающая тело в висе (F_Σ) обусловлена силой F_1 и F_2 :

$$F_\Sigma = F_1 + F_2$$

Модель 2 – кинематическая цепь образована большим количеством звеньев; сила, удерживающая тело в висе (F_5) обусловлена силой звеньев A_1, A_2, A_3, A_4 :

$$F_\Sigma = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$



Аналогичным образом происходит сложение сил во второй модели техники виса. Однако в данном случае количество вовлеченных в движение звеньев цепи больше. В данном случае в поддержании всего тела в висе участвует все звенья кинематической цепи (A_1 и A_2). Работающие мышцы обуславливают действие сил F_1, F_2, F_3, F_4 и образуют связанную конструкцию, (A_5). В результате суммарная сила, обеспечивающая выполнение виса, равна сумме сил F_1, F_2, F_3, F_4 .

В общем виде сложение сил в представленных кинематических цепях можно представить в виде формулы (формула 3):

$$F_{\Sigma} = \Sigma F_i \quad (3)$$

где:

F_{Σ} – сила, удерживающая тело в висе;

F_i – сила, обусловленная включением отдельных взаимосвязанных звеньев кинематической цепи;

F_p – сила реакции опоры.

Во второй модели суммарная сила, обеспечивающая положение виса, значительно больше данной силы в первой модели. Это означает, что во второй модели в поддержании положения виса участвуют мышцы не только верхней конечности (как в первой модели), но и мышцы туловища, ног. Соответственно, на верхнюю конечность приходится меньшая нагрузка по сравнению с первой моделью техники. Это обуславливает эффективность второй модели техники и дает теоретическую основу для формирования наиболее эффективной техники движений в скалолазании, обеспечивающей достижение спортивного результата и предотвращающей травматизм. Однако экспериментальная проверка данных положений требует дополнительных исследований.

Таким образом, в данном исследовании были выявлены основные биомеханические параметры виса в скалолазании для различных моделей техники, характерных для спортсменов разной квалификации. Данные положения были теоретически обоснованы с точки зрения законов механики и законов взаимодействия сил в кинематической цепи, что является новыми данными. Подтверждены данные Shinkle, Nesser, Demchak, McMannus, (2012), Hides, Stanton, (2014), Myer, Ford, Palumbo, Hewett, (2005) относительно образования кинематических цепей при включении в работу взаимосвязанных мышц, образующих единую конструкцию и повышающих суммарную силу, обеспечивающую движение.

Выводы

1. Выявлены основные кинематические параметры виса в скалолазании для различных моделей техники, характерных для спортсменов разной квалификации. Для неквалифицированных спортсменов характерен тип техники с минимальным напряжением мышц плеча, спины, большим углом между плечом и надплечьем и практически вертикальным положением нижнего отдела позвоночника с изогнутостью в верхнем отделе. Для квалифицированных спортсменов характерен тип техники с напряжением мышц плеча, спины, большим углом между плечом и надплечьем и большим углом между позвоночником и вертикальной осью, не изогнутым положением позвоночника.

2. Показано наличие достоверных различий ($p < 0,001$) в величине углов между плечом и надплечьем, между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью в фазе фиксации виса. Угол между плечом и надплечьем в первой модели техники составил 146° , во второй модели техники данный угол составляет 97° . Угол между поясничным отделом позвоночника и вертикальной осью составил в первой модели 11° , во второй модели данный угол составил 28° .

3. Показана динамика изменения угла между плечом и надплечьем от момента захвата зацепа до фазы фиксации виса. В момент захвата зацепа величина угла между плечом и надплечьем практически одинакова для обеих моделей техники. Во второй модели техники виса угол между плечом и надплечьем постепенно уменьшается от момента захвата зацепа до фазы фиксации зацепа, в то время как в первой модели данная величина держится на одном уровне.

4. Показано, что в первой модели вис осуществляется в основном за счет связочного аппарата суставов плечевого пояса при минимальном включении мышц, что опасно травмированием связок плечевого сустава. Во второй модели вис обеспечивает также включение мышц туловища и ног, что снижает нагрузку со связочного аппарата и понижает вероятность травмирования связок плечевого сустава. Дано теоретическое обоснование правильной техники виса в скалолазании с точки зрения законов механики и законов взаимодействия сил в кинематической цепи.

Благодарности

Исследование проведено согласно: научно-исследовательской работе, которая финансируется за счет государственного



бюджета Министерства образования и науки Украины на 2019-2020 гг. «Теоретико-методические основы разработки технологий для восстановления опорно-двигательного аппарата и функционального состояния и профилактики травматизма и представителей различных

возрастных групп в физической культуре и спорте» (№ госрегистрации: 0119U100634).

Конфликт интересов. Автор заявляет, что не существует конфликта интересов.

References

1. Adrian, M.J. and Cooper, J.M. (1995). *Biomechanics of Human Movement*, 2nd edn. Madison, WI: Brown & Benchmark.
2. Arend, S. and Higgins, J. (1976). A strategy for the classification, subjective analysis and observation of human movement. *Journal of Human Movement Studies*, 2, 36-52.
3. Bertuzzi, R. C. D., Franchini, E., Kokubun, E., & Kiss, M. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 293-300. doi:10.1007/s00421-007-0501-0
4. Campbell, A. D., Davis, C., Paterson, R., Cushing, T. A., Ng, P., Peterson, C. S., . . . McIntosh, S. E. (2015). Preparticipation Evaluation for Climbing Sports. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 25(5), 412-417. doi:10.1097/jsm.0000000000000247
5. Carr, G. (1997). *Mechanics of Sport*. Champaign, IL: Human Kinetics.
6. Cooper, J.M., & Glassow, R.B. (1916). *Kinesiology*, 4th edn. St. Louis, MO: Mosby.
7. Douwes, M., & DuI, J. (1991). Validity and reliability of estimating body angles by direct and indirect observations. In *Designing for Everyone: Proceedings of the International Ergonomics Association* (edited by Y. Queinnee and F. Daniellou), pp. 885-887. London: Taylor & Francis.
8. Harriett, R. (1999). *Sports Biomechanics: Reducing Injury and Improving Performance*. London: E & FN Spon.
9. Hides, J., Stanton, W. (2014). Can motor control training lower the risk of injury for professional football players? *Med Sci Sports Exerc.*, 46(4), 762-8. doi: 10.1249/MSS.0000000000000169. PubMed PMID: 24056268.
10. Korobejnikov, G., Korobejnikova, L., Kozina, Z. (2012). *Evaluation and correction of physiological states in sports*, Kharkiv, KNPU.
11. Kozina, Z., Repko, O., Kozin, S., Kostyrko, A., Yermakova, T., & Goncharenko, V. (2016). Motor skills formation technique in 6 to 7-year-old children based on their psychological and physical features (rock climbing as an example). *Journal of Physical Education and Sport*, 16(3), 866-874. doi:10.7752/jpes.2016.03137
12. Kozina, Z., Repko, O., Safronov, D., Kozin, S., Evarnickii, I., & Grebniova, I. (2018). System of development of coordination abilities of young climbers 6-7 years. *Health, Sport, Rehabilitation*, 4(4), 62-71. In Russian doi:<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2536470>
13. Kozina, Zh.L., Koval, V.A. Kovtun, E.V., Temchenko, V.A. (2015). The use of information and communication technologies in the physical education of university students. *Physical education and sport*, 2 (11), 69-73, 2015. <http://sportsscience.org/index.php/vuz/article/view/58>
14. Kozina, Z.L. (2005). Basic scientific and methodological approaches to the process of individualizing the training of athletes (by the example of basketball). *Fizicheskoe vospitanie studentov tvorcheskikh spetsialnostey*, 5, 8-20.
15. Kozina, Zh. L., Grin, L.V. & Yefimov, A.A. (2010). The application of the system of aims, means and methods of individualization of training athletes in team sports in the structural elements of the annual training cycle. *Fizicheskoe vospitanie studentov*, 4, 45-52 (in Russ)
16. Lutter, C., Schweizer, A., Hochholzer, T., Bayer, T., & Schoffl, V. (2016). Pulling Harder than the Hamate Tolerates: Evaluation of Hamate Injuries in Rock Climbing and Bouldering. *Wilderness & Environmental Medicine*, 27(4), 492-499. doi:10.1016/j.wem.2016.09.003
17. McCarthy, J. & Soh G. (2010). *Geometric Design of Linkages*. Springer, New York.
18. Myer, G., Ford, K., Palumbo, J., Hewett, T. (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res*. 2005 Feb;19(1):51-60.
19. Rodio, A., Quattrini, F. M., Fattorini, L., Egidi, F., & Marchetti, M. (2006). Physiological significance of efficiency in rock climbing. *Medicina Dello Sport*, 59(3), 313-317.
20. Royslance, D. (2008). *Mechanical properties of materials*, pp. 6-7
21. Schoffl, V. R., Hoffmann, P. M., Imhoff, A., Kupper, T., Schoffl, I., Hochholzer, T., & Hinterwimmer, S. (2018a). Long-Term Radiographic Adaptations to Stress of High-Level and Recreational Rock Climbing in Former Adolescent Athletes: An 11-Year Prospective Longitudinal Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(9). doi:10.1177/2325967118792847
22. Schoffl, V., Lutter, C., & Popp, D. (2016). The "Heel Hook"-A Climbing-Specific Technique to Injure the Leg. *Wilderness & Environmental Medicine*, 27(2), 294-301. doi:10.1016/j.wem.2015.12.007
23. Schoffl, V., Lutter, C., Woollings, K., & Schoffl, I. (2018). Pediatric and adolescent injury in rock climbing. *Research in Sports Medicine*, 26, 91-113. doi:10.1080/15438627.2018.1438278



24. Shinkle, J., Nesser, T., Demchak, T., McMannus, D. (2012). [Effect of core strength on the measure of power in the extremities](#). *J Strength Cond Res.* 26(2), 373-80. doi: 10.1519/JSC.0b013e31822600e5.
25. Uicker, J Pennock, G. & Shigley, J. (2003). *Theory of Machines and Mechanisms*, Oxford University Press, New York.
26. van Middelkoop, M., Bruens, M. L., Coert, J. H., Selles, R. W., Verhagen, E., Bierma-Zeinstra, S. A., & Koes, B. W. (2015). Incidence and Risk Factors for Upper Extremity Climbing Injuries in Indoor Climbers. *International Journal of Sports Medicine*, 36(10), 837-842. doi:10.1055/s-0035-1547224
27. White, D. J., & Olsen, P. D. (2010). A time motion analysis of bouldering style competitive rock climbing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1356-1360. doi:10.1519/JSC.0b013e3181cf75bd

Информация об авторе

Information about the authors

Козин С.В.

<http://orcid.org/0000-0003-1351-664X>

kozin.serenya@gmail.com

Харьковский национальный педагогический университет имени Г.С. Сковороды
ул. Алчевских, 29, г. Харьков, 61002, Украина

Kozin S.V.

<http://orcid.org/0000-0003-1351-664X>

kozin.serenya@gmail.com

H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University
Altshevskih str. 29, Kharkov, 61002, Ukraine

Принята в редакцию 12.02.2019

Received: 12.02.2019