

## Обоснование исходных медицинских данных для разработки антропоморфного испытательного манекена

Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики), Москва

**Резюме.** Для защиты от неблагоприятного действия ударной перегрузки разрабатываются технические средства защиты, эффективность которых проверяется в ходе испытаний. Особое место среди средств испытаний принадлежит физическому аналогу тела человека – антропоморфному манекену. Эксперименты с участием испытуемых позволили разработать антропометрические, биомеханические и потребительские требования к манекенам, соответствующим малым (5 перцентиль), средним (50 перцентиль) и крупным российским военнослужащим (95 перцентиль). Установлены требования к массе тела, длине тела (росту стоя), росту сидя, высоте надплечий над сиденьем кресла, окружности груди третьей, массе основных сегментов манекена (голова и шея; верхняя, средняя и нижняя часть торса; плечо, предплечье, кисть, бедро, голень, стопа). Манекены, моделирующие военнослужащих с малыми размерами, должны иметь массу 58 кг, длину тела 165,6 см, рост сидя 86 см и окружность груди 88,8 см; моделирующие среднего военнослужащего – соответственно 68 кг, 173 см, 92,2 см и 98,5 см; крупного военнослужащего – 101,2 кг, 190 см, 96,5 см и 108,8 см. Экспериментально с участием добровольцев изучена податливость мягких тканей человека в проекции ремней привязной системы, что позволит конструктивно или за счет подбора соответствующего материала моделировать механические характеристики торса манекена и обеспечить адекватную реакцию на инерционное нагружение тела. Сформулированы требования к динамической прочности манекена и к его потребительским свойствам, обеспечивающим возможность использования в процессе натурных и полунатурных испытаний.

**Ключевые слова:** эргономика, ударная перегрузка, испытания, антропоморфный измерительный манекен, антропометрия, технические средства защиты.

**Введение.** В ходе профессиональной деятельности военнослужащие сталкиваются с ударными перегрузками (УП). Для защиты от их неблагоприятного действия разрабатываются технические средства защиты, эффективность которых проверяется в ходе испытаний. Особое место среди средств испытаний принадлежит физическому аналогу тела человека – антропоморфному манекену (АМ). В настоящее время в соответствии с международными стандартами в качестве основного измерительного АМ в нашей стране в динамических испытаниях применяется зарубежный манекен Hybrid-III [1]. Однако предварительный анализ показал, что его ключевые характеристики, такие как рост и масса, существенно отличаются от соответствующих показателей российских военнослужащих, что может исказить результаты оценки защитных характеристик, полученных в ходе испытаний. В связи с этим актуальной задачей является создание отечественных измерительных АМ. Для проведения испытаний необходимо использование линейки манекенов – тяжелого, легкого и среднего. Эта задача требует получения исходных антропометрических показателей, отражающих морфологические особенности российских военнослужащих. Кинематика АМ и динамика его взаимодействия с сиденьем и привязной системой при действии УП сильно зависит от

податливости материала, находящегося под ремнями привязной системы. Для того чтобы смещение частей АМ в большей мере соответствовало кинематике тела человека, необходимо максимально полно воспроизвести податливость в зонах проекции ремней привязной системы. Для формирования требований к механическим параметрам моделирующего материала необходимо изучить податливость тела человека в соответствующих частях тела.

**Цель исследования.** Разработать исходные медицинские данные для создания АМ.

**Материалы и методы.** Исследования проводились с участием различных категорий российских военнослужащих. Для создания испытательного АМ, предназначенного для динамических испытаний средств защиты, необходимы следующие показатели: масса тела, кг; длина тела (рост стоя), см; рост сидя, см; высота надплечий над сиденьем кресла, см; окружность груди третья, см; масса основных сегментов АМ (голова и шея; верхняя, средняя и нижняя часть торса; плечо, предплечье, кисть, бедро, голень, стопа), кг. Антропометрические характеристики изучались традиционными способами [3] у 881 десантника и 126 курсантов с помощью медицинских весов, ростомера, антропометра и гибкой измерительной ленты.

Для увеличения выборки нами была разработана и разослана в войсковые части воздушно-десантных войск анкета, позволившая собрать из медицинских книжек ряд антропометрических характеристик (масса тела, рост стоя, окружность груди третья) 10562 военнослужащих.

Податливость тела изучалась в исследованиях с участием 10 здоровых испытуемых-мужчин в возрасте от 18 до 40 лет с помощью оригинального миотонометра с последующей регистрацией данных на электрокардиографе по показателю механической жесткости. Шток миотонометра создает строго дозируемую деформацию изучаемого объекта. Одновременно регистрируется величина усилия, обеспечивающая данную деформацию. Поскольку площадь контактной поверхности штока составляет 1 см<sup>2</sup>, давление, оказываемое на объект, численно равно измеренному усилию. В процессе исследований создавалась деформация мягких тканей испытуемых в области грудной клетки, грудины и внутренней поверхности бедер, равная 0,6; 1 и 1,4 см.

Полученные данные обрабатывались традиционными методами статистики с использованием программы Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Масса тела военнослужащих, принявших участие в исследовании, колебалась от 54 до 117 кг. Распределение этого показателя характеризуется достоверной правосторонней асимметрией – коэффициент  $As=1,208$  ( $\alpha < 1\%$ ). Ее причина, по-видимому, связана с неравномерностью возрастного состава обследованной группы, в которой преобладали молодые военнослужащие: более 70% из них имели возраст от 18 до 20 лет. Об этом косвенно свидетельствует и то обстоятельство, что 65,7% обследованных лиц составили военнослужащие, проходящие службу по призыву. Известно, что при прочих равных условиях для молодежи характерна меньшая масса тела, чем для людей старшего возраста.

Полученные данные позволяют определить значения массы тела, характерные для легких (5 перцентиль), средних (50 перцентиль) и тяжелых военнослужащих (95 перцентиль). Искомые величины составляют соответственно 58, 68 и 88 кг. Эти данные служат основой для формирования требований к АМ. Вместе с тем считаем, что в отношении массы 95-перцентильного АМ необходимо произвести определенную корректировку. Это обусловлено курсом на более широкое привлечение в ряды Вооруженных сил Российской Федерации лиц, проходящих службу по контракту, – людей более старшего возраста, чем призывники, и, следовательно, имеющих большую массу тела. В качестве референтной группы были выбраны лица летного состава. С одной стороны, это офицеры, а с другой стороны, возраст действующих летчиков обычно не превышает 35–37 лет. Как показали обследования 525 летчиков, их средняя масса тела составила 82,1 кг, среднеквадратичное отклонение – 11,1 кг. Таким образом, масса тела 95-перцентильного летчика равна 101,2 кг. Полагаем, что на эту величину

целесообразно ориентироваться при формировании требований к 95-перцентильному АМ.

Изучение количественных значений габаритных размеров (рост стоя, рост сидя, высота надплечий над сиденьем кресла) показало, что их распределение в исследуемой выборке также отличалось от нормального. По-видимому, причиной этого, как и в случае с массой тела, служат особенности возрастного состава обследованных лиц. Эмпирические величины роста стоя, роста сидя и высоты надплечий над сиденьем кресла представлены в таблице 1. Распределение третьей окружности груди у обследованных лиц было близко к нормальным значениям данного показателя, соответствующим пятому, пятидесятому и девяносто пятому перцентилю.

Таблица 1

Некоторые значения антропометрических размеров обследованных военнослужащих

Антропометрический размер	Перцентиль		
	5	50	95
Рост стоя, см	165,6	173,0	190,0
Рост сидя, см	86	92,2	96,5
Высота надплечий над сиденьем, см	46	60	65
Третья окружность груди, см	88,8	98,5	101,2

Непосредственное измерение массы частей тела живого человека является очень сложной и дорогостоящей процедурой. Вместе с тем на основе анализа многочисленных экспериментальных данных В.М. Зациорский и др. [2] разработали достаточно точные способы расчета искомых параметров по доступным антропометрическим характеристикам человека. При оценке массы частей тела, необходимых для проектирования измерительного АМ, мы использовали эти способы. Полученные данные представлены в таблице 2.

Для формирования требований к механическим параметрам моделирующего материала была изучена податливость тела человека в зонах, где ремни системы фиксации наиболее плотно прилегают к телу

Таблица 2

Масса (кг) сегментов АМ разных размеров

Сегмент	Категория манекена		
	5-перцентильный	50-перцентильный	95-перцентильный
Стопа	0,83	0,95	1,35
Голень	2,51	2,96	4,44
Бедро	8,11	9,67	15,02
Кисть	0,38	0,44	0,59
Предплечье	0,97	1,10	1,59
Плечо	1,55	1,83	2,84
Голова	4,65	4,93	5,77
Верхняя часть торса	9,34	10,77	16,30
Средняя часть торса	9,16	10,90	17,59
Нижняя часть торса	6,27	7,61	11,85

человека: области грудной клетки (2-е межреберье по среднеключичной линии) справа и слева, грудина, внутренняя поверхность бедер в верхней четверти, справа и слева. Между деформацией тканей и усилием (давлением) штока существует нелинейная зависимость: по мере роста сжатия тканей экспоненциально растет их жесткость. Отмечается широкая индивидуальная вариабельность измеренных показателей (табл. 3), коэффициент вариации колеблется от 17,9 до 103%. Оба эти обстоятельства необходимо учитывать при регламентировании характеристик торса и ног АМ.

Попарное сравнение аналогичных величин, измеренных во всех точках как справа, так и слева, показало, что податливость в этих точках достоверно не различается ( $p > 0,05$  по t-критерию), поэтому вполне

оправданным является представление (см. табл. 3) соответствующих усредненных данных. Не отмечено достоверных различий в податливости мягких тканей бедра и межреберий, что позволяет выдвинуть единые требования по податливости боковых областей грудной клетки и внутренних зон бедер (в табл. 3 – «Мягкие ткани»). Вместе с тем отмечается большая жесткость грудины по сравнению с остальными изученными тканями. Эти различия статистически недостоверны только для деформации 0,6 см, при других условиях нагружения разница достоверна ( $p < 0,05$ ). В связи с этим считаем необходимым отдельно регламентировать требования к податливости грудной клетки и области грудины.

АМ должен полноценно моделировать смещения сегментов тела под действием внешней нагрузки для придания манекену необходимой позы перед испытаниями и для адекватного отображения инерционного смещения частей тела человека при действии УП. На первом этапе создания АМ полагаем возможным ограничиться обеспечением адекватных движений лишь основных движений человека, причем, с учётом специфики реакции тела на действие УП продольного и поперечного направлений, движений только в одной плоскости – сагиттальной. Для этого необходимо, чтобы объем движений сегмента «голова – шея» относительно торса, верхней части туловища относительно нижней части туловища (граница соответствует разграничению грудного и поясничного отделов позвоночника), подвижность тазобедренного, коленного, голеностопного, плечевого и локтевого суставов были близки к аналогичным показателям человека. Необходимые требования для объема и амплитуды движений в крупных соединениях тела человека представлены в таблице 4.

Обращаем внимание на величину сгибания головы, которая превышает приводимые обычно в справочной литературе характеристики. В экспериментах с биоманекенами (трупами) было показано, что динамическое сгибание головы относительно торса при величине 90–95° не вызывает повреждений мягких тканей [4]. В связи с этим считаем, что АМ должен

Таблица 3

Показатели податливости

Область тела/ ход штока, см	X, кг/см <sup>2</sup>	σ, кг/см <sup>2</sup>	CV, %
Межреберье			
0,6	0,43	0,14	33,3
1	0,89	0,31	34,7
1,4	1,96	0,64	32,7
Бедро			
0,6	0,39	0,17	43,6
1	0,73	0,25	64,1
1,4	1,34	0,24	17,9
Мягкие ткани			
0,6	0,41	0,15	36,6
1	0,81	0,29	35,8
1,4	1,65	0,56	33,9
Грудина			
0,6	1,65	1,7	103
1	4,33	3,07	70,9
1,4	7,29	4,57	62,7

**Примечание:** X – среднее значение, σ – среднеквадратичное отклонение, CV – коэффициент вариации.

Таблица 4

Амплитуда движений в крупных соединениях тела человека, ° (по [6], с изменениями)

Часть тела	Соединение (сустав)	Движение	
		сгибание	разгибание
Голова+шея	Соединение шеи с торсом	≥95*	90**
Грудной отдел позвоночника	Соединения позвоночного столба	-50	55
Поясничный отдел позвоночника	Соединения позвоночного столба	-40	30
Бедро	Тазобедренный	150	-15
Голень	Коленный	-160	10
Стопа	Голеностопный	-30	30
Плечо	Плечевой	120	-30
Предплечье+кисть	Локтевой	150	0

**Примечание:** \* – оригинальное требование; \*\* – суммарный объем движений атлантозатылочного сустава и шейного отдела позвоночника.

иметь, по крайней мере, не меньшую подвижность.

Известно, что тело человека представляет собой вязко-упругую структуру, обладающую соответствующими характеристиками, которые в значительной мере определяют характер деформации тела при ударе. Особенно важно знать и моделировать эти характеристики, чтобы получить адекватную реакцию при действии ударной перегрузки «голова – таз» – основного вектора ударного воздействия при взрыве противотранспортной мины. Для этого соединение средней и нижней части торса АМ должно обладать следующими характеристиками упруго-демпфированной механической модели: частота собственных колебаний – 8,4 Гц; постоянная времени затухания – 0,084 с. Эти характеристики соответствуют параметрам широко распространенной как у нас в стране, так и за рубежом и используемой для оценки травмобезопасности ударных воздействий модели динамической реакции тела человека [5].

АМ должен быть удобен в эксплуатации. Его конструкция должна позволять легко надевать на манекен штатное обмундирование – летнее и особенно зимнее. При этом датчики и другое контрольно-записывающее оборудование не должно повреждаться. Должна быть предусмотрена возможность размещения АМ внутри люки машины имеют ограниченные размеры, а АМ, как следует из приведенных выше материалов, будет весьма габаритен и тяжел. По-видимому, для решения данной задачи необходимо будет предусмотреть возможность использования вспомогательных средств (краны, подъемники и т. п.). Чтобы эффективно пользоваться такими средствами, на манекене следует предусмотреть специальные приспособления, за которые можно будет его захватить (крюки, петли и т. д.). Однако эти приспособления не должны сколько-нибудь заметно влиять на масс-габаритные параметры АМ и на его кинематику и динамику. Они не должны мешать одеванию и снятию штатного снаряжения с АМ соответственно до и после испытаний.

АМ должен быть транспортабельным, желательно на легковом автомобиле. АМ должен отличаться высокой надежностью и живучестью. Он не должен повреждаться и должен сохранять работоспособность при действии УП, которые несколько превышают значения, характерные для испытаний систем приземления боевых машин (БМ), а именно УП «голова – таз» – не менее 30 единиц; УП «спина – грудь» или «грудь – спина» – не менее 40 единиц; УП «бок – бок» – не менее 20 единиц.

АМ должны быть взаимозаменяемыми между собой при проведении испытаний противоударной защиты экипажей БМ. Части манекена должны быть взаимозаменяемыми между собой при подготовке к испытаниям противоударной защиты экипажей БМ.

Представленные данные могут быть использованы при проектировании серии измерительных АМ («легкого», соответствующего 5-перцентильному военнослужащему, «среднего», соответствующего 50-перцентильному военнослужащему, и «тяжелого», соответствующего 95-перцентильному военнослужащему), предназначенных для динамических испытаний средств противоударной защиты.

#### Литература

1. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности гражданских легких самолетов. – Л.: ЛИИ им. Громова, 1993. – 227 с.
2. Зацюрский, В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Зацюрский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
3. Мартиросов, Э.Г. Методы исследования в спортивной антропологии / Э.Г. Мартиросов. – М.: ФиС, 1982. – 199 с.
4. Пырлина, Н.П. Моделирование повреждений шейного и верхнегрудного отделов позвоночника при вентральном сгибании под действием статических и динамических нагрузок / Н.П. Пырлина [и др.] // Моделирование повреждений головы, грудной клетки и позвоночника. – М., 1972. – С. 111–122.
5. Ступаков, Г.П. Биомеханика позвоночника при ударных перегрузках в практике авиационных и космических полетов / Г.П. Ступаков, А.П. Козловский, В.С. Казейкин. – Л.: Наука, 1987. – 240 с.
6. Физиология движений. – Л.: Наука, 1976. – 376 с.

Yu.B. Moiseyev, S.P. Ryzhenkov

#### Justification for the initial medical data for the development of an anthropomorphic test dummy

**Abstract.** To protect against the adverse impact of shock acceleration, technical protection equipment is being developed, the effectiveness of which is verified during the tests. Special place among these tests belongs to physical analogue of human body – anthropomorphic testing dummy. The experiments with the participation of volunteers allowed to develop anthropometric, biomechanical and consumers requirements to anthropoid testing dummy, which are corresponded to small (5 percentile), medium (50 percentile) and big Russian servicemen (95 percentile). There were also established demands to body weight, stature – body height, sitting height, height of shoulders over the seat, chest circumference, mass of the main segments of anthropoid testing dummy (head and neck, upper, middle and lower parts of a trunk, shoulder, forearm, hand, leg, foot). An anthropoid testing dummy, modeling servicemen with small sizes, must have 58 kg weight, 165,6 cm body height, 86 cm sitting height and 88,8 cm chest circumference; a dummy, modeling middle servicemen, must have 68 kg weight, 173 cm body height, 92,2 cm sitting height and 98,5 cm chest circumference; a dummy, modeling big servicemen, must have 101,2 kg weight, 190 cm body height, 96,5 cm sitting height and 101,2 cm chest circumference. During the experiments with the participation of volunteers, pliability of soft tissues of human, being in connection with restraint system, was studied. It allows modeling mechanical characteristics of anthropoid testing dummy's torso and ensure adequate reaction to inertial load of a body. There are given demands to dynamical firmness of anthropoid testing dummy and to its qualities, ensuring peculiarities of its use during natural and semi-natural testing.

**Key words:** ergonomics, impact acceleration, tests, anthropomorphic test dummy, anthropometry, technical means of protection.

Контактный телефон: 8-916-447-82-58; e-mail: ybmn@rambler.ru